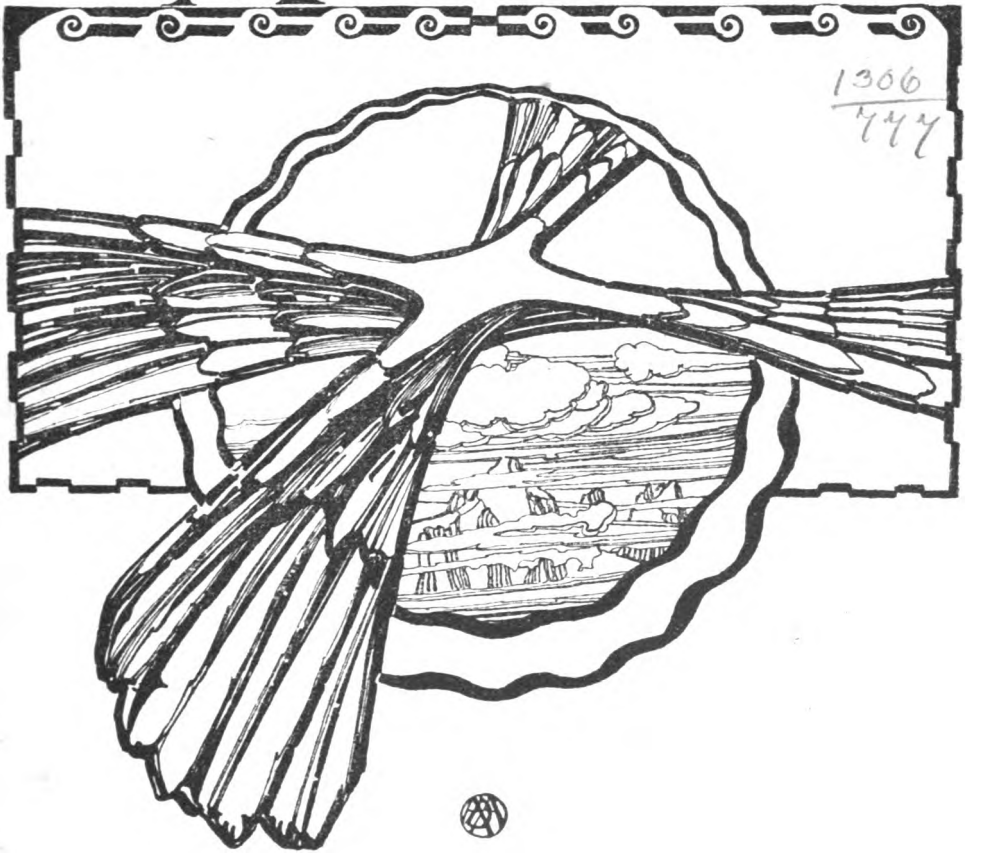
A. FACCIOLI

TRATTATO DI AVIAZIONE

1306
777



BIBLCA DI SCIENZE
MODNE NO 57 FRATLLI
BOCCA EDITORI

Digitized by Google

Digitized by Google

TRATTATO DI AVIAZIONE

DELL'EQUILIBRIO NEGLI AREOPLANI

Digitized by Google

DELLO STESSO AUTORE:

Teoria del volo e della navigazione aerea. Ricerche sperimentali sulla resistenza dell'aria. — Milano, 1895, 1 vol. in-8° — L. **6,50**.

Digitized by Google

Digitized by Google

Areoplano Faccioli.

Digitized by Google

106026

Ing. A. FACCIOLI

TRATTATO DI AVIAZIONE

DELL'EQUILIBRIO NEGLI AREOPLANI

Con 35 figure e una carta.

MILANO TORINO ROMA
FRATELLI BOCCA EDITORI

Depositario per la Sicilia: ORAZIO FIORENZA - PALERMO.
Deposito per Napoli e Provincia: SOCIETÀ COMMERCIALE LIBRARIA - NAPOLI

1911

VICTOR
SILBERER

Digitized by Google

TL[illegible]
ST[illegible]

Proprietà Letteraria

G.F.
397283
'30

Torino — Tipografia Vincenzo Bona (11643).

Digitized by Google

4.N.4.23.

INTRODUZIONE

Tutti avranno sentito ripetere molte volte, se pur non hanno avuto occasione di affermarlo essi medesimi, che fra teoria e pratica intercede un abisso — oppure che i teorici hanno sempre fallito nell'applicazione alla pratica dei loro concetti, e che quasi sempre le spiegazioni e le dimostrazioni che essi hanno voluto dare dei risultati già raggiunti dalla pratica nè spiegavano nè dimostravano alcunchè di ciò che in realtà avveniva. Ed infine, che furono quasi sempre degli *empirici* che riuscirono pei primi nei nuovi trovati dell'ingegno umano e le teorie sono sempre venute molto più tardi, puranche incomplete, ed in ogni caso di poca o nessuna utilità.

Nel caso particolare dell'aviazione, tali superbe affermazioni dei " pratici „ assumono un carattere di evidenza così manifesta, che non resta ai teorici che piegare umilmente il capo. — È proprio così: Non solo i teorici hanno sbagliato tutte le loro previsioni, ma è persino avvenuto, inoltre, che quei pochi che alla loro pratica hanno voluto associare un po' di teoria, hanno fallito i loro tentativi, laddove i pretti empirici sono riusciti. — Ricorderò qui ancora una volta le parole del Sig. Archdeacon, uno dei primi mecenati dell'avia-

Digitized by Google

zione (*): — ..... " *Je vais probablement faire sauter au plafond MM. les mathématiciens, mais je dirai que j'ai presque toujours constaté que la culture intensive des mathématiques atrophiait les qualités créatrices de tous ceux qui s'y plongeaient.*

" *Je prétends, et je prétendrai toujours qu'un véritable inventeur est un artiste, que vous ne pourrez jamais brider dans les formules, sans lui retirer tout son génie.*

" *Les mathématiciens sont des épilogueurs, des catalogueurs des résultats d'expériences, obtenus presque toujours par des empiriques; et s'ils ont le malheur de faire des formules " avant la lettre „ leurs formules seront, neuf fois sur dix, en défaut.*

" *Ces savants théoriciens ont mesuré et calculé, par les méthodes les plus précises, le fameux coefficient K... pour arriver à nous démontrer que nous ne pourrions jamais voler.*

" *Pendant ce temps-là, de modestes empiriques, comme Santos Dumont, Voisin, Farman, qui se souciaient de la valeur de K* comme un poisson d'une pomme, *prouvaient, en volant, que toutes les mesures, tous les calculs des mathématiciens sur la question, étaient faux, depuis A jusqu'à Z* „.

Queste parole dell'Archdeacon dànno la misura precisa del valore che in pratica si dà alla teoria.

Io, è ovvio dal momento che pubblico delle teorie, non divido l'opinione generale: ma se la critica invece di risalire alla teoria si ferma ai teorici, e specie a quelli dell'aviazione, mai rimprovero fu meglio applicato e più meritato. — Lasciamo andare tutto ciò che si è scritto e pubblicato *prima* della riuscita: le parole dell'Archdeacon riportate qui sopra ne fanno piena giustizia; limitiamoci alle pubblicazioni venute poi. — Fin dalle prime notizie che si ebbero dei voli di Delagrange e del Farman, il mondo fu invaso da una folla, oltrechè

(*) Le ho già riportate in un mio articolo apparso nel " Bollettino d'Areonautica „. Roma, luglio 1908.

Digitized by Google

di inventori, di matematici... come chiamarli... *d'occasione*, alcuni dei quali salirono al grado di luminari dell'aviazione, gente tutta che avrebbe fatto meglio a darsi allo studio di una di quelle scienze ove la confusione è di rigore, per esempio... che so io... " lo spiritismo „, e che ha trovato nell'aviazione un tema per sbizzarrire la propria fantasia. — Essi hanno innondato di formole e di principî balordi, periodici e pubblicazioni, acciocchè si possa dire una volta di più che la teoria è... *una gran povera cosa.*

A me, che pubblico delle teorie *mie*, non conviene che questo si dica, e mi propongo di difendere con becco ed artigli ciò che è patrimonio, non solo, ma anche " orgoglio „ dell'umanità veramente intellettuale, e voglio proclamare alto e forte che è menzogna che la teoria dissenta dalla pratica, e non serva a guidarla ed illuminarla e voglio dire io, che sono pure un pratico, quanto possa esserlo chi sa anche tradurre materialmente in atto ciò che la mente concepisce, che mai nella mia lunga carriera mi è avvenuto di trovare la teoria in fallo; e che quando i risultati non furono quali li avevo previsti, ho dovuto, con mia confusione e vergogna, constatare che avevo dimenticato... che non avevo pensato... quando sarebbe stato invece molto facile — ricordare — pensare!

No, la matematica non mette le briglie all' immaginazione, le scioglie ! e sono ben lontani gli artisti dall' arrivare alle immaginose creazioni cui sono giunti *dei matematici.*

Non è la teoria, sono i teorici, quelli dell'aviazione sopratutto, che si sono addimostrati " una gran povera cosa „.

Non ho nessuna intenzione di posare da *super uomo*, voglio solo ricordare il diritto che ognuno ha di pretendere qualmente coloro che s'assumono il còmpito di spezzare il pane della scienza al prossimo bisognoso di lumi, conosca almeno il valore dei termini che impiega. Ma nemmeno questo hanno dimostrato di sapere costoro; non parliamo poi dei loro ragionamenti.

Digitized by Google

Perciò la parte bibliografica del mio lavoro è pressochè nulla. — A che prò citerei ciò che si è scritto in argomento? La mia critica non potrebbe essere che spietata perchè io non posso riguardare le loro teorie che come una profanazione! Meglio dunque che mi astenga.

***

E dopo ciò una dichiarazione:

Si ha l'abitudine di dare il nome di scienza anche a delle collezioni più o meno ordinate di fatti diversi. Ora è bene che si ripeta qui che la scienza è puramente " ideale „, e ciò che non è " ideale „ non è scienza perchè non è *vero*, ma solo *fallace apparenza.*

O in altri termini: ciò che ideale non è, può essere vero solo in date circostanze, e sotto certi aspetti, ma induce subito in errore se si vuole estendere il significato dei casi particolari ad altri casi che forse solo *apparentemente* sono analoghi.

La teoria dell'aviazione non può ancora assurgere al grado scientifico. Troppe ed enormi lacune persistono tutt'ora nelle nostri cognizioni in materia. Siamo ancora nel periodo sperimentale, che è quanto dire all'*infanzia* della scienza, e l'argomentare su risultati sperimentali staccati è metodo sommamente pericoloso, per quanto generalmente adottato.

***

Però i risultati dell'esperienza possono dar luogo alla formazione di " criterii isolati „, che per quanto non assurgano al grado di cognizione totale, possono servire ad illuminare la pratica.

Quando tutto il campo sarà investigato, quando nulla re-

Digitized by Google

sterà più di oscuro o di incerto, solo allora il problema potrà ricevere una soluzione veramente scientifica; per ora ci è forza limitarci alle soluzioni parziali, contenti di aver quel tanto di lume che basta per rintracciare il nostro cammino, senza il pericolo continuo di urtarci ad un masso o di precipitare in un abisso.

È così che il lettore deve interpretare quanto vedremo in seguito. Nè io ho la pretesa di aggiungere nuove cognizioni a quelle che già esistono. Io non farò che mettere in buon ordine le nozioni che già possediamo, nell'attesa che si aggiungano quelle che ancora ci mancano.

Digitized by Google

Digitized by Google

PARTE I

Digitized by Google

Digitized by Google

CAPITOLO I.

Volare.

Prima ancora di entrare in argomento, è bene che fissiamo esattamente il significato di molti termini d'uso comune che noi dovremo impiegare continuamente, attribuendo loro un significato " preciso „. E primo fra questi è il verbo " volare „ e i suoi derivati.

A tutta prima prevale il concetto che volare significhi sollevarsi dal suolo, *andare in aria*. Ma questo primo concetto è molto vago.

Quando infierisce un uragano volano anche i tetti delle case; a questo modo ho visto volare l'intera copertura di un *hangar*, e anche qualche areoplano in esperimento. Veramente gli areoplani non volavano per l'uragano naturale, ma bensì per quello artificiale prodotto dalla loro velocissima corsa, e gli inventori erano felicissimi di essere arrivati a tanto. — Infatti l'areoplano si era sollevato dal suolo, non importa se subito dopo si era rovesciato e frantumato; fatto sta che si era sollevato, *dunque aveva volato* e c'era luogo ad esser soddisfatto. — Però — osservo — si studiava il modo perchè il volo non avesse più a ripetersi nello stesso modo; segno certo che non era codesto che l'inventore — sia pur soddisfatto — si proponeva per il volo del suo apparecchio. Se poi un giorno veniva in cui l'areoplano prima d'infrangersi riusciva a fare un certo tragitto, già si cominciava a

Digitized by Google

sospettare che l'apparecchio *non volava ancora*, e non era se non quando il tragitto si era allungato di tanto da potersi dire un *volo* e non un *salto in aria* che si osava affermare che l'apparecchio *volava*. Ecco già che noi sentiamo il bisogno di restringere il significato del termine *volare* a qualche cosa di meglio definito dell'abituale. Non basta che l'apparecchio sia sollevato in aria da un turbine, sia pur artificiale; questo risultato è troppo facile ad ottenersi quando si disponga di sufficente forza motrice, bisogna inoltre che riesca a fare un tragitto di una certa importanza, percorrendo un certo prestabilito cammino, mantenendosi librato in aria in un certo modo e senza dar segno *di perdita del suo equilibrio*. E qui sta il nodo della questione: nel *mantenimento dell'equilibrio*, perocchè è solo quando questa condizione si trova realizzata che l'apparecchio *si può mantenere* in volo.

***

Quando avviene che un areoplano in volo si rovesci e cada, noi diciamo che ha perduto l'equilibrio, come lo diciamo di qualunque altro oggetto mobile che cade, e per ora le nostre considerazioni non vanno più in là; non sarà che più avanti che potremo comprendere esattamente in cosa consiste il mantenimento e la perdita dell'equilibrio; per il momento ci contentiamo di sapere che la facoltà di mantenere in aria una certa posa corretta, rispetto al cammino che si vuol percorrere, prende il nome di " *stabilità* „ dell'areoplano. Ecco dunque che il termine *volare* non comprende soltanto la facoltà di sollevarsi dal suolo, ma anche quella di percorrere a grandissima velocità e *stabilmente* un certo tragitto voluto. — Ma poi non basta ancora.

Se se ne toglie uno, forse due, tutti gli apparecchi esistenti, anche i più rinomati, volano bensì, cioè conservano la loro

Digitized by Google

posa od " assetto „ in aria ed obbediscono alla direzione, *ma solo in grazia all'attenzione ed all'abilità del pilota.*

Nessuna distrazione è permessa, e quando vi è vento non sono rari i momenti d'angoscia. E coloro che arrischiano delle volate intorno agli alti monumenti della città, non tornano mai, specie se c'è vento, invogliati di ripetere la loro audacia. Nè hanno guardato curiosamente in basso la folla tumultuante, nè il panorama che si stende ai loro piedi, nè contemplato la bella e maestosa solitudine che li circonda, non i rapimenti del volo, l'ebbrezza della velocità, l'aria, la luce, lo spazio, ma un tormento continuo, un desiderio di finir presto e di conseguire l'ambita palma nel minor tempo possibile. — Questo che io dico, non tutti vorranno ammetterlo, ma risulta positivamente da narrazioni udite e non ci sarà difficile corroborarlo con buone ragioni. — Ora questo non è ciò che dobbiamo intendere col verbo *volare.*

Se gli areoplani non potessero essere costruiti altrimenti da come riuscirono ai valorosi che primi li montarono, sarebbero arnesi da abbandonare agli acrobati; non potrebbero mai dar luogo ad alcuna seria applicazione. — Se ogni volata fuori della " pista „ è un atto da cantare come di coraggio eccezionale, rimarrà sempre una eccezione, e lo sarà sempre, anche per i meglio provvisti di coraggio.

L'aviatore deve invece essere tranquillo sul suo apparecchio, anche se c'è vento. — Egli deve sapere che, indipendentemente dalla sua attenzione o diligenza od abilità, nessun pericolo gli sovrasta. — Egli deve poter guardarsi attorno ed estasiarsi a suo piacimento nel godimento che può offrirgli il volo, senza correre in nessun guaio nè grande nè piccolo, od altrimenti non ci sarebbe proprio nessun sugo ad occuparsi di areoplani. Quando le emozioni del volo debbano ridursi tutte a una pena continua, quando uno debba sempre aver l'animo sospeso nell'attesa della catastrofe finale, val meglio astenersene come da un controsenso.

Digitized by Google

Ora ecco dunque come a poco a poco l'idea si fa precisa e comprendiamo cosa si debba intendere col termine *volare*. L'apparecchio deve sollevarsi dal suolo e percorrere in aria a grande velocità considerevoli distanze e deve potersi comandare a piacimento per fargli percorrere quel cammino che più ci talenta, e tutto questo senza dare **alcuna preoccupazione** per *la sua stabilità*.

Allontanare assolutamente tutti i pericoli non è possibile nè per gli areoplani nè per nessun altro mezzo di locomozione a grande velocità, e si potrebbe aggiungere anche a piccola; ma insomma bisogna che l'andare in areoplano non sia più pericoloso di quello che lo sia l'andare in automobile, p. es., od altrimenti non ci sarebbe avvenire per l'aviazione.

Ora se è in questo senso che noi intendiamo la parola *volare*, possiamo dire subito degli areoplani che, fatta eccezione di uno, forse due, nessuno vola... " per sè „. È il pilota che li fa volare e mantiene l'equilibrio, ma se al luogo del pilota si metterà un peso morto equivalente, l'apparecchio non vola più.

Io mi inchino riverente ai Wright, ai Bleriot ecc., poichè molto hanno fatto per l'aviazione. Una infinità di particolari sono stati da essi studiati e portati a compimento con vero successo, e l'*arte* dell'aviazione deve loro gran parte dei suoi progressi; non così può dirsi del funzionamento dei loro apparecchi, e se essi volano è per una fortunata combinazione, cioè perchè il mantenerli in equilibrio non è difficile, ma non perchè siano apparecchi che volano **per sè**!

Oggi è possibile costruire apparecchi veramente stabili, tanto che la macchina può essere lanciata in volo sostituendo il pilota con un sacco di sabbia; ed è anzi così che dovrebbero essere provati gli areoplani per verificare se volano " per sè „.

Noi andiamo ora alla ricerca dei criteri da applicarsi nel progettare macchine atte " a volare „ nel modo convenuto.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

Preliminari.

Quando nella trattazione di qualche argomento si è nella necessità di far uso di calcoli o di ricorrere a nozioni di scienze esatte, si ha l'abitudine di supporre il lettore perfettamente al corrente sia delle nozioni che del calcolo. È una finzione; si sa perfettamente che, tolto un numero ristrettissimo di lettori, il maggior numero è imbarazzato dal calcolo, e non ricorda più i principii di quelle scienze che è indispensabile rievocare. Gli stessi esperti e professionisti perdono di vista, se non ne fanno uso giornaliero, un'infinità di nozioni, senza ricordare le quali molti ragionamenti diventano incomprensibili. Aggiungerò poi, che il sistema brutale col quale sono compilati i trattati di scienze matematiche, ed il non meno brutale sistema col quale, ai miei tempi almeno, venivano impartiti i relativi insegnamenti, fa sì che pochissimi siano riusciti ad indovinare il perchè di certe teorie, e la materia è rimasta in gran parte mal compresa (*).

Mi perdonino dunque i lettori esperti in matematica se: 1° farò scarsissimo uso di calcolo, e anzi se ridurrò sempre questo al più elementare possibile; 2° se mi dilungherò in spiegazioni inutili per essi. Pensino che saranno utili per molti altri. Desidero che si capisca dai più quanto scrivo; e

---

(*) Alcuni insegnanti inclusi.

Digitized by Google

ritengo che per un gran numero di lettori il ricordare loro ciò che forse da lungo tempo hanno perduto di vista, servirà a che possano seguire il ragionamento.

***

In meccanica (razionale) si dice che un corpo o sistema di corpi è in equilibrio " assoluto „ quando l' effetto finale di tutte le forze che agiscono sul sistema è nullo. Cioè a dire quando alcune delle forze in azione compensano esattamente le azioni delle restanti forze, di modo che il risultato finale è come se *nessuna forza* fosse in azione. — D'altra parte, la forza è definita causa di moto o di cambiamento di moto. — Dunque quando esiste l' equilibrio assoluto o non vi è moto *o non vi è cambiamento di moto.* Non esserci moto tutti comprendono cosa vuol dire; non esserci cambiamento di moto vuol dire che il moto conserva la velocità e la direzione attuale e cioè che è moto **rettilineo uniforme**.

L'equilibrio si divide in *statico* e *dinamico.* Siccome in molti libri d'aviazione la stabilità degli areoplani si è fatta entrare nel dominio dell'equilibrio dinamico, diciamo subito, per rimettere le cose a posto, che tutte le questioni di stabilità sono di dominio dell'equilibrio *statico*, non esclusa quella degli areoplani, e che quello dinamico s'occupa solo dei cambiamenti che hanno luogo nel moto del sistema, e non della stabilità. Il carattere che distingue i due generi di equilibrio e fa sì che non è possibile nè confonderli nè trattarli insieme è questo:

Per l'equilibrio *statico* non interessa che le forze in giuoco si facciano equilibrio; importa solo che: *la loro risultante finale passi per il centro di massa del sistema,* mentre invece per il dinamico importa anche che le forze si facciano equilibrio.

Quando i due equilibrii sussistono insieme, allora si dice

Digitized by Google

esservi equilibrio assoluto. Ciò non implica che il corpo o il sistema sia al riposo. Può essere in moto, purchè rettilineo e uniforme, ed allora si dice che l'equilibrio è relativo.

Noi, volendo ora delucidare il problema della stabilità degli areoplani, consideriamo dapprima l'equilibrio statico relativo.

***

L'equilibrio in discorso può essere: stabile, indifferente, instabile. È stabile quando il sistema *spostato dalla sua posizione d'equilibrio* e poi lasciato libero ritorna a riprendere, da sè, la detta posizione d'equilibrio. È indifferente quando, come sopra, spostando e poi lasciando libero il sistema, questo resta dove lo si è portato. È instabile quando gli spostamenti, come sopra, inducono il sistema ad allontanarsi definitivamente dalla precedente posizione d'equilibrio.

Senza fermarci a discutere queste definizioni molto vaghe e ritornando all' argomento della stabilità diremo: Se un sistema è in equilibrio per una sua data posizione, e se lasciandolo libero dopo avergli fatto prendere un'altra posizione, esso torna a quella di prima, è chiaro che: lo spostamento dalla posizione d'equilibrio fa nascere una **reazione** allo spostamento stesso, una **opposizione** d'onde consegue poi il ritorno alla posizione di prima.

Noi dunque abbiamo un criterio per giudicare della stabilità o meno dell'equilibrio di un sistema qualsiasi, sia pure un areoplano. Vedere se lo spostamento dalla posizione d' equilibrio sveglia o no le anzidette **azioni antagoniste** allo spostamento stesso.

In altri termini: Perchè l'equilibrio di un sistema sia stabile, bisogna che si manifesti una resistenza del sistema stesso al cambiare quella tale posizione che si ritiene essere quella di equilibrio. Bisogna che sia il sistema stesso che si **oppone** al cambiamento di posizione e che lasciato libero **vuol** tor-

Digitized by Google

nare alla sua prima posizione. Solo che non sappiamo come sia questa posizione d'equilibrio nè in cosa consistano questi spostamenti.

§ 1. Posizione d'equilibrio od assetto.

Se noi vediamo cadere un areoplano in volo, diciamo subito che ha perduto il suo equilibrio; potremmo perfettamente dire che lo ha ritrovato invece, perchè mai l'areoplano avrà posizione d'equilibrio più stabile di quando si troverà sul suolo; e ciò potrebbe ripetersi in tutti i casi analoghi; — ma noi invece diciamo che l'ha perduta. Ciò vuol dire che con la breve elocuzione, *posizione d'equilibrio*, noi intendiamo non una posizione qualsiasi per la quale il sistema potrebbe trovarsi in equilibrio, chè in generale tutti i sistemi ne hanno una infinità, ma bensì intendiamo significare quella certa tale posizione *esclusiva* che è necessaria che il sistema mantenga per servire ad un dato e *determinato fine*. Così, per esempio: una nave può trovarsi perfettamente in equilibrio, forse ancora meglio, capovolta; ma per i nostri scopi serve che stia diritta; dico così per esprimermi brevemente: Si dice stabilità della nave la facoltà di tenersi *diritta* in onta al vento ed alle onde; e la posizione che essa ha in acqua ed aria calma si dice sua " posizione d'equilibrio „ od " assetto „ e si dicono *cambiamenti d'assetto* i cambiamenti di questa posizione, quando si conservano *entro i limiti della stabilità*.

Qui noi giudichiamo dell'assetto della nave rispetto alla superficie dell'acqua ferma, o di un piano orizzontale, ed il più gran numero delle posizioni d'equilibrio dei vari sistemi che ci vengono in esame nella pratica corrente, sono tutte giudicate rispetto al *piano orizzontale*.

Anche un areoplano deve conservare un certo *assetto* che più tardi definiremo, solo che il suo genere di locomozione,

Digitized by Google

che può avvenire in tutti i sensi, necessita dei cambiamenti tali d'*assetto* che ci è impossibile definire la sua posizione di equilibrio altrimenti che giudicandolo rispetto alla *direzione del suo moto.*

Invero se l'areoplano vuol salire, bisogna *che volti il naso all'insù* — mi si passi l'espressione che traggo dal gergo del mestiere —; per discendere deve *voltare il naso all'ingiù*; per " virare „ deve *dar di banda*, e ciò nonostante la sua stabilità non deve venir meno. In una parola, non c'è una posizione di equilibrio determinata rispetto a piani fissi, e l'assetto dell'areoplano non si sa in che modo giudicarlo se non relativamente alla direzione del suo moto; tanto più che anche le forze che agiscono sul sistema — quelle soggette a variazioni — e che perciò sono le sole che possono alterare l'equilibrio — sono anch'esse dipendenti dal *moto del sistema.*

Ma ancora non basta. Il moto del sistema non può essere inteso nel senso abituale, e non è quello che avviene rispetto ad oggetti fissi, e che è percepito dalle persone a terra, salvo il caso *unico* di aria assolutamente ferma. Si cade perciò nella necessità di definire la direzione del moto rispetto al quale l'areoplano deve conservare una certa determinata posizione.

***

Basta che l'areoplano sia alto 200 metri da terra perchè sparisca, per l'aviatore che non guarda direttamente sotto di sè, ogni sensazione di moto e gli sembri di essere assolutamente fermo in aria (*). La percezione della propria velocità non gli viene che per la violenza del vento da cui si sente colpito. È rispetto alla direzione di questo vento che l'areoplano

(*) Questo fatto, che è sempre avvertito dall'aviatore, gli rende difficile il dirigersi ed il capire i movimenti che l'apparecchio eseguisce per le perturbazioni d'equilibrio.

Digitized by Google

deve conservare il suo assetto, e perciò gli *spostamenti dalla posizione d'equilibrio che devono far nascere quelle azioni antagoniste che determinano la stabilità*, sono relativi alla direzione del vento che colpisce l'apparecchio, appunto quel vento che percepisce l'aviatore.

Se l'aria è ferma, la direzione di questo vento è quella stessa del moto, ma di senso contrario; ma se l'aria non è ferma i due moti dell'aria e dell'areoplano si compongono e possono dare una direzione differente, *e non di poco*, da quella del " moto dell'areoplano „. È sempre rispetto a questo moto *relativo dell'aria ambiente* che noi contempliamo l'equilibrio statico e che definiamo la posizione d'equilibrio o d' " assetto normale „ dell'apparecchio.

§ 2. **Spostamenti.**

Ed ora diciamo qualche cosa degli spostamenti dalla posizione d'equilibrio.

Vi sono dei casi — rari — in cui si contempla lo spostamento dalla posizione d'equilibrio per semplice traslazione; per esempio, di un areostata, il quale potrà essere in equilibrio o no secondo il livello a cui si trova dal suolo, ecc.

In generale però gli spostamenti di cui è parola, sono delle *rotazioni* parziali, delle *oscillazioni* intorno ad uno, più generalmente due, assi che si suppongono *solidari* col sistema.

Così per una nave: s'immagina una retta che va da prua a poppa parallelamente alla chiglia e le si dà nome di *asse longitudinale*. Se ne immagini un'altra che va da un bordo all'altro, perpendicolarmente alla prima, e le si dà il nome di *asse trasversale*; e finalmente una terza retta che passa per l'incrocio delle due prime — e che è verticale — e si dice *asse verticale*.

I tre assi sunnominati si suppongono *solidari* della nave. Gli spostamenti della nave dalla posizione d'equilibrio pei quali

Digitized by Google

si contempla la sua stabilità, sono sempre solo quelli che fanno inclinare l'*asse supposto verticale*; perchè difatti, finchè l'asse verticale della nave conserva il suo *a piombo*, la nave avrà " virato „, si sarà immersa più o meno, si sarà trasportata da luogo a luogo, ma il suo assetto rispetto al piano orizzontale non è cambiato perchè l'asse, detto verticale, è sempre verticale e perciò nulla minaccia la sua stabilità. Ora le inclinazioni che può prendere l'asse verticale si ottengono tutte facendo ruotare la nave ora intorno all'asse longitudinale, ora intorno al trasversale, ora intorno ad entrambi ad un tempo.

In un areoplano non si può contemplare l'asse verticale, perchè non è che in un sol caso che questo asse sarà verticale, e per tutte le altre posizioni d'equilibrio in volo quest'asse sarà ben lontano dall'essere verticale. Ma possiamo però tener conto delle rotazioni intorno agli assi trasversale e longitudinale, le quali rotazioni dunque — come crediamo d'aver spiegato — sono finalmente **gli spostamenti** di cui finora abbiamo parlato.

Assomigliando grossolanamente un areoplano ad un uccello in volo *planante*, l'asse longitudinale è quello che dal becco va alla coda; l'asse trasversale quello che dalla punta di un'ala va alla punta opposta, perpendicolarmente al primo. L'asse verticale sarebbe quello che passa per l'incrocio dei due perpendicolarmente al loro piano.

§ 3. **Piano alare. — Vento relativo.**

Le ali di un areoplano, come quelle di un uccello, non sono piane, e vedremo anche che non devono esserlo; ma ad esse si può *sottendere* un piano. È in questo piano che noi immaginiamo per ora essere tracciati gli assi *longitudinale* e *trasversale*, e noi chiamiamo *piano alare* quello dei due assi ora definiti.

Digitized by Google

***

L'assetto rispetto al vento *relativo* — così si dice quello che colpisce l'aviatore in volo — è dato appunto dagli angoli che il piano contenente i due assi fa col *vento relativo* e con l'*orizzonte.*

Durante il volo, in generale, i due assi longitudinale e trasversale non sono paralleli al suolo supposto orizzontale, ma lo incontrano (fig. 1) in due punti *m n*, congiungendo i quali si ha la *traccia orizzontale del piano alare.*

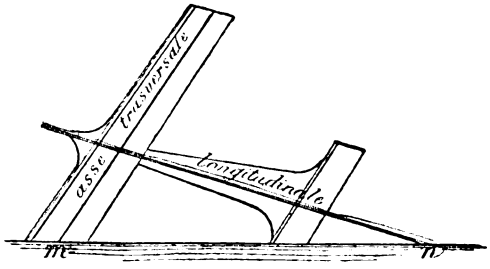


Fig. 1. — Piano alare.

L'angolo che questo piano fa con l'orizzontale ci dà la *pendenza del piano alare* e si ottiene intersecando i due piani, alare e orizzontale, con un terzo piano perpendicolare alla traccia *m n.* Sempre si attribuisce al piano alare la pendenza che ha l'asse trasversale. Ciò non è esatto, tuttavia in molti casi la differenza non è grande. Se riteniamo che *praticamente* si possa confondere l'un angolo con l'altro (la pratica vive di queste confusioni), potremo stabilire l'assetto rispetto al vento relativo, mediante la conoscenza dell'angolo che il vento fa col piano alare e di quello che l'asse trasversale fa con l'orizzonte. Finalmente poi se introduciamo fin d'ora una nozione, che ci verrà confermata in seguito, che cioè: non vi è equi-

Digitized by Google

librio nell'areoplano se il vento relativo non si mantiene sul piano di simmetria dell'apparecchio, potremo ancora più semplicemente stabilire l'assetto rispetto al vento relativo, mediante la conoscenza dell'*angolo che fa il vento con l'asse longitudinale.*

In conclusione: Se noi per ora limitiamo i nostri concetti allo strettamente necessario per proseguire, possiamo definire la stabilità di un areoplano così: *L'attitudine o la facoltà di opporre delle azioni antagoniste a cambiare l'angolo che durante il volo l'asse longitudinale fa con il vento relativo.*

***

Ma nel tempo stesso osserviamo:

Dal momento che l'assetto deve essere conservato rispetto al vento relativo (risultante dal moto simultaneo dell'apparecchio e dell'aria ambiente), ogni cambiamento nella direzione o nella intensità *del moto dell'aria ambiente* — inducendo un cambiamento nella direzione del vento relativo risultante, l'areoplano, per conservare il suo assetto, dovrà seguirne le variazioni; e siccome il vento — come ognuno sa — non ha nè intensità nè direzione fissa, sarà un continuo oscillare dell'areoplano **in virtù appunto della propria stabilità.**

E certamente così deve essere. Ed altrettanto irragionevole è il supporre, come abitualmente si fa, che l'attributo di stabilità conferisca all'areoplano la facoltà di compiere il suo volo mantenendosi immobile rispetto al suo cammino, come lo sarebbe il pretendere che una barca in mare agitato conservasse sempre la sua chiglia orizzontale e non facesse mai un'oscillazione. Se ciò si volesse ottenere con dei mezzi speciali, la conseguenza immediata sarebbe che la barca od ogni istante tufferebbe o da prua o da poppa o di fianco nell'onda. È proprio in virtù della sua stabilità che la barca alza la prua per

Digitized by Google

risalir l'onda, invece di traversarla, o dà di banda se l'onda vien di fianco invece di imbarcarla; e così deve fare un areoplano.

Furono emessi dei premi per chi avesse escogitato un apparecchio atto a conservare automaticamente l'orizzontalità degli areoplani; fortunatamente non venne trovato e non si ebbe occasione di applicarlo, chè un apparecchio simile non avrebbe potuto dar luogo che a dei disastri.

Un areoplano che non segue docilmente i cambiamenti del vento relativo riceve il vento semplicemente in condizione da perdere il proprio equilibrio, e tutto l'artifizio sul quale riposa la sicurezza del volo si riduce in ultima analisi a questo semplicissimo:

Che l'areoplano sia costrutto in modo che **qualunque sia il cambiamento di direzione del vento relativo** l'apparecchio si disponga sempre — rispetto alla nuova direzione del vento — come lo era rispetto alla precedente.

E questo è *necessario e sufficente* per la sua stabilità.

Senonchè, ripeteremo per l'ultima volta, deve essere il vento relativo medesimo che cambiando direzione induce quelle *azioni antagoniste* a cui abbiamo più dietro alluso, le quali devono obbligare l'apparecchio a spostarsi, per riprendere il suo " assetto normale „ rispetto al vento relativo nuovo — e non il pilota!

E vediamo finalmente i fenomeni in giusta luce.

Gli spostamenti dalla posizione d'equilibrio non sono quasi mai dovuti all'areoplano; se l'aria fosse assolutamente ferma, ciò che non è, si può dir mai, nulla potrebbe assolutamente turbare l'equilibrio dell'apparecchio, supposta costante la forza motrice ed immobile l'aviatore; sono i moti del fluido nel quale l'apparecchio naviga che turbano l'equilibrio statico.

Bisogna tener presente che un apparecchio librato in aria è una bilancia, il cui fulcro è il centro di gravità, sensibilissima, perchè priva d'attriti, la quale segna le più piccole varia-

Digitized by Google

zioni nelle forze equilibrantesi e che perciò anche dei movimenti dell'aria ambiente, trascurabili per le persone che sono a terra, fanno sentire la loro influenza sull'apparecchio in volo e se questo non è stabile per sè, è un continuo giuoco di correzioni che il pilota deve fare per mantenersi in aria. Se poi il moto del fluido ambiente è sensibile e l'apparecchio non è stabile per sè, il pilota, che non ha altra guida per regolarsi nelle manovre all'infuori della percezione della posizione che l'apparecchio mantiene nello spazio, ben sovente manovra a controsenso per poi affrettarsi subito dopo a correggere in senso opposto e non sempre giusto. È facile comprendere da ciò le difficoltà che quasi tutti trovano a volare con vento, anche oggi che molti aviatori hanno compreso che, quando c'è vento, non bisogna contrastare i movimenti dell'apparecchio.

Ma, si obietterà, se le cause di squilibrio sono poi tutte limitate al caso di vento, il male si ridurrà in ultima analisi a volare quando non c'è vento.

No, si risponde, vi ha ancora un'altra causa di squilibrio, se non più forte certo più frequente del vento e questa è: l'*equilibrio dinamico.*

Non è possibile cambiare la *direzione del moto* di un sistema materiale in movimento, senza far intervenire in azione una forza che agisca *trasversalmente* alla direzione *del moto che si suppone preesistere.* Questa forza, che prende il nome di *centripeta* e che è la sola causa del cambiamento di direzione, distrugge l'equilibrio dinamico e questo a sua volta distrugge lo statico.

E così è che ogni volta che l'aviatore vuol salire o scendere, curvare a destra od a sinistra, insomma cambiare la direzione del moto, sparisce l'equilibrio dinamico e lo statico insieme. Ed in questi casi, il soccorso delle azioni antagoniste ripristinanti l'equilibrio statico è indispensabile, o l'aviatore dovrà provvedere a sostituirle in quella misura che la pro-

Digitized by Google

pria *abilità* gli suggerisce. Ecco d'onde viene la difficoltà dei " viraggi „ (tutti sanno cosa vuol dire), dei *planés* e delle evoluzioni in genere, e come si reputi gloria la riuscita e come effettivamente lo sia con la maggior parte degli apparecchi in uso, non stabili.

§ 4. Grado di stabilità.

Dobbiamo da ultimo definire il grado di stabilità.

Un tavolo posato su quattro piedi è senza dubbio un sistema stabile. Però se si inclina il tavolo fino a che la verticale del centro di gravità cade fuori del quadrilatero circoscritto ai quattro piedi, il tavolo si rovescia. Vi è dunque un limite alla stabilità, anche di un tavolo, e così è per tutti i sistemi stabili immaginabili. Il grado di stabilità lo definiamo per l'*estensione* e l'*intensità*. Il grado dell'estensione è l'ampiezza dello spostamento che si può effettuare senza uscire dai limiti della stabilità. Il grado dell'intensità è l'intensità delle azioni antagoniste che un dato spostamento risveglia.

Finalmente poi introducendo un'ultima nozione di meccanica, cioè che: i moti di *rotazione* di un sistema libero nello spazio, soggetto a forze che non si fanno equilibrio, hanno luogo *intorno al centro di gravità* preso come fulcro, ne consegue che potremo definire " materialmente „ un areoplano stabile così: " Un apparecchio, il quale, impernato esattamente sul suo centro di gravità in modo che possa ruotarvi intorno in tutti i sensi, e presentato **comunque** a un vento di intensità e direzione qualsiasi, prende prontamente da solo e mantiene una certa *prestabilita* posizione „. Lo sforzo che è necessario esercitare per smuovere d'una certa quantità l'apparecchio dalla sua posizione d'equilibrio, stabilisce l'intensità del *grado di stabilità*. Le posizioni estreme per le quali l'apparecchio non si dispone più per virtù propria nella sua posi-

Digitized by Google

zione d'equilibrio rispetto al vento, segnano l'estensione della stabilità.

Ed ora che ci siamo procurati un concetto *concreto* del fine che ci proponiamo di raggiungere, andiamo a vedere a quali mezzi dobbiamo ricorrere, per tradurlo in atto.

Digitized by Google

CAPITOLO III.

Nomenclatura.

Oramai tutti hanno visto degli areoplani e sanno come sono fatti, ed è a cognizione di tutti che essi devono la loro sospensione nello spazio alla spinta dell'aria, violentemente investita dalla superficie inferiore delle loro ali, durante la loro rapidissima corsa. Come pure tutti hanno visto che le ali sono grandi telai, a contorno press'a poco rettangolare, composti di due o più lunghe antenne di legno o di tubi d'acciaio, traversati da stecche generalmente di legno, sulle quali è tesa, quasi sempre sulle due facce, della tela gommata.

Noi non abbiamo da occuparci della materiale costruzione degli areoplani, ma solo del loro *funzionamento*, e senza necessità non entreremo in particolari costruttivi; di questi il lettore non ha probabilmente bisogno, ma in ogni caso facilmente ed abbondantemente può procurarseli ovunque.

§ 5. **Superficie ventrale e dorsale.**

Nelle ali si deve distinguere la superficie inferiore, quella rivolta verso il suolo e che si dice *ventrale*, dalla superficie superiore che si dice (*) *dorsale.*

(*) Si dice *o* diremo.

Digitized by Google

§ 6. Battente e ciglio.

Poi si deve distinguere il lato dell'ala dal quale l'aria viene investita, dal lato opposto. I francesi chiamano *bord d'attaque* il primo e *lisière de l'aile* il secondo.

Io diedi già il nome di " battente dell'ala „ (*) al primo e " ciglio dell'ala „ al secondo; possiamo conservare queste denominazioni.

§ 7. Angolo di incidenza e di orientazione.

Inoltre bisogna distinguere l'angolo che il piano dell'ala fa con la *direzione del volo* da quello che fa *con l'orizzonte.* Anche qui conserverò le denominazioni impiegate altra volta e chiameremo *angolo di incidenza* quello che i francesi denotano con l'espressione *angle d'attaque*, ed è l'angolo che il piano alare fa con la *direzione del vento relativo*, mentre diremo *angolo di orientazione*, l'angolo che il medesimo piano alare fa con l'*orizzonte* (Vedi fig. 2).

Per brevità ci accadrà soventi di dire: *ventre* e *dorso, battente* e *ciglio, incidenza* ed *orientazione* invece di superficie ventrale o dorsale, battente o ciglio dell'ala, angolo di incidenza o di orientazione.

Per esempio diremo: l'incidenza non può essere uguale all'orientazione se non quando il volo è orizzontale.

§ 8. Ali piane e curve. — Ali dritte ed arcate.

Poi ricorderemo che le ali si dividono in *piane e curve* secondo che la sezione dell'ala, fatta normalmente al battente,

(*) Faccioli, *Teoria del volo.* Hoepli, 1895.

Digitized by Google

risulta una linea retta od una curva. *Dritta* od *arcata* secondochè è rettilineo od arcato il *battente.*

§ 9. **Profilo. — Piano di simmetria.**

La linea retta o curva risultante dalla sezione, normale al battente fatta all'ala si dice il *profilo* dell'ala, e, come si è detto, l'ala prende il nome di piana o curva, secondochè il suo profilo è rettilineo o no. La sezione normale fatta sul punto di mezzo del battente dà il *profilo sulla mezzaria*, e serve per rappresentare l'ala sul disegno, il quale allora rappresenta nel tempo stesso il *piano di simmetria dell'ala.*

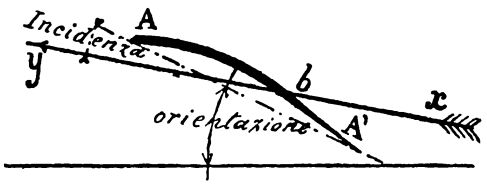


Fig. 2. — Incidenza ed orientazione.

§ 10. **Moto normale e in deriva.**

Quando la direzione del moto è contenuta in questo piano, il moto si dice *normale al battente* o semplicemente *normale*; in caso contrario diremo che il moto è *obliquo* o in *deriva.*

Per ora noi consideriamo solo il moto rettilineo normale al battente, e perciò il piano del disegno *è il piano di simmetria dell'ala* e contiene il *profilo sulla mezzaria dell'ala*, e *la direzione rettilinea del moto* (fig. 2).

Digitized by Google

§ 11. Incidenza di un'ala piana.

Si dice *angolo d'incidenza di un'ala piana*, l'angolo formato dalle due rette rappresentanti l'una il profilo dell'ala, l'altra la direzione del moto A*by*.

§ 12. Incidenza di un'ala curva.

Mentre diremo *angolo di incidenza di un'ala curva* l'angolo formato dalle due rette, l'una *la corda del profilo* AA', l'altra la direzione del moto *xy*.

§ 13. Larghezza e lunghezza. — Superficie dell'ala.

Diremo *larghezza dell'ala* la distanza fra battente e ciglio, cioè la distanza fra gli estremi del profilo; mentre la *lunghezza dell'ala* sarà quella del suo battente. La sua superficie è il prodotto dei due.

Digitized by Google

CAPITOLO IV.

Resistenza dell'aria.

Quando un corpo è in moto completamente immerso in un fluido, esso, necessariamente, deve aprirsi un *varco* per passare comprimendo il *fluido circostante* e lasciandosi dietro un vuoto che lo stesso — *fluido circostante* — si affretta riempire, in *virtù* ed a *scapito* della propria pressione, man mano che il corpo si avanza.

Noi abbiamo la esatta immagine del come si comporta un fluido attorno a un corpo in moto, ponendo mente a quanto succede quando, per es., un carro passa attraverso una grande e fitta folla di persone. La gente apre un varco per lasciar passare il carro, pigiando le persone circostanti; passato il carro i pigiati si riespandono nello spazio lasciato libero nel quale, nei primi istanti della occupazione, si trovano più a lor agio, perchè tutt'attorno a loro gli altri si sono ristretti. Talchè, seguendo con l'occhio il carro, lo vedremo sempre preceduto e contornato da gente più pigiata e seguìto da gente meno pigiata di quella che non è ancora, o non è più, disturbata dal passaggio del carro. E se non fosse per la diversità delle persone si potrebbe ritenere che il carro spinge davanti a sè una *prua* di gente *pigiata* e si trascina dietro una *poppa* di gente *allargatasi*. In realtà non c'è trasporto di persone nel senso del moto del carro se non per quel tanto che occorre *davanti* per cedere, *dietro* per riempire lo spazio lasciato libero. È un vero e proprio moto d'*onda*.

Digitized by Google

Ma senza ora internarci in un esame che per approfondirlo ci porterebbe ai confini dell'universo, risulta per i fluidi questo fatto:

Un corpo in moto nell'aria, ha costantemente davanti a sè aria compressa e dietro a sè aria rarefatta; e la **prevalenza** della pressione a *monte* sulla pressione a *valle*, dà la misura della " *resistenza dell'aria* „ al moto del corpo.

Perciò noi non possiamo e non dobbiamo considerare l'azione che l'aria può esercitare sul corpo in moto, se non come la *prevalenza* della pressione dell'aria stessa su certe porzioni della superficie del corpo, in confronto della pressione su certe altre porzioni. La pressione dell'aria è maggiore sulle superfici che " *vanno contro* „ il fluido, minore su quelle che se ne *allontanano.*

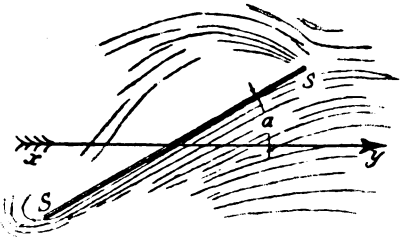


Fig. 3.

In conseguenza: quando noi consideriamo un'ala piana in moto nell'aria — e sia questa rappresentata col suo profilo sul piano di simmetria, SS' (fig. 3), mentre x-y, da x verso y, rappresenta la direzione e senso del moto, ed α l'angolo di incidenza, noi dobbiamo ritenere che sulla faccia *ventrale* l'aria ha una pressione **maggiore** dell'aria ambiente mentre sulla faccia *dorsale* essa l'ha **minore** della medesima aria ambiente. E se noi invece di supporre l'ala in moto nell'aria

Digitized by Google

ferma, facciamo il caso inverso supponendo invece ferma l'ala ed in moto l'aria nel senso da y verso x, il fenomeno non cambierà affatto perchè sarà ancora il fluido che urta sulla faccia ventrale e che si allontana dalla faccia dorsale.

La prevalenza della pressione in discorso sarà o non sarà — anzi non lo è — diffusa in modo uniforme su tutta la superficie piana urtata, ma è la somma di tutte le varie prevalenze parziali; e questa somma ci dà la misura e la direzione della " *resistenza che l'aria oppone al moto* „ dell'ala piana considerata.

E siccome questa resistenza è una **pressione di un fluido**, noi non possiamo considerarla altrimenti se non come una forza **perpendicolare** alla superficie che la riceve.

***

Un'ala piana è sempre un corpo a tre dimensioni comunque la si immagini confezionata. Oltre alle superfici dorsale e ventrale vi sono quelle del *battente* e del *ciglio* che pure devono intervenire nel fenomeno. È naturale supporre che se il battente è piatto e grosso può introdurre una resistenza perpendicolare al battente e che perciò la resistenza totale, del corpo **ala**, non sarà perfettamente perpendicolare al piano dell'ala medesima; ma sembra naturale ammettere che facendo l'ala molto sottile, per es. di lamierino di ferro, e affilando bene il battente e levigando bene l'ala, si debba riuscire a rendere **trascurabile** la resistenza del battente e che, in questo caso, nessuna azione si potrà produrre dal fluido sull'ala, se non perpendicolarmente alla medesima. Ed io l'ho creduto ed ho pubblicato, molti anni sono, risultati d'esperienze abbastanza ben condotte, partendo dai concetti su esposti. Vedremo or ora che le cose vanno ben altrimenti!

Digitized by Google

§ 14. Resistenza dell'aria sulle ali in moto.

Tutti sanno che facendo muovere nell'aria una lamina sottile piana, si trova una resistenza che aumenta proporzionalmente *al quadrato della velocità*, e che, per una medesima velocità, essa è massima quando si tien l'ala col suo piano perpendicolare alla direzione del moto, *cioè per una incidenza di 90°*, e va gradualmente decrescendo man mano che l'angolo d'incidenza si fa di più in più acuto. Ma tutti non sanno che questa resistenza non va mai, per quanto si faccia, al disotto di un certo valore, anche quando l'incidenza è nulla, cioè quando l'ala *taglia perfettamente* l'aria; e che ciò avviene sempre per quanto si faccia l'ala sottile. Si potrebbe credere che la resistenza al moto di un'ala piana che *scia*, cioè che ha il suo piano esattamente nella direzione del moto, è unicamente dovuto all'orlo anteriore dell'ala, cioè che è la resistenza del *battente*. Certamente il *battente* deve introdurre una resistenza; ma quella di cui qui si tratta è un'altra, perchè detta resistenza non diminuisce facendo il battente tagliente, anzi diminuisce se si fanno, al contrario, grosso il battente e tagliente il ciglio. Per quanti artifici si impieghino al fine di ridurre questa resistenza *parassita*, si trova sempre che insieme con la pressione normale al piano, il fluido esercita un'altra azione che è nel piano dell'ala.

Ne consegue che la resistenza totale del fluido è obliqua e non perpendicolare al piano dell'ala, come dovrebbe essere, e questa obliquità della risultante si fa di più in più manifesta, man mano che l'angolo d'incidenza si fa di più in più acuto. Questo fenomeno, che ha un'importanza capitale nella determinazione del *lavoro motore necessario al volo*, viene presto spiegata dai più con la locuzione molto comoda, dell' " attrito

Digitized by Google

dell'aria „ e si dice: Il fluido che lambisce la superficie dell'ala in moto, provoca una resistenza d'attrito che è una piccola forza diretta nel piano dell' ala, in senso contrario al moto; ai grandi angoli di incidenza questa piccola forza può passare inosservata, perchè è trascurabile di fronte alla pressione normale dell'ala; ma agli angoli di incidenza piccoli per i quali la pressione normale del fluido è anch' essa una forza piccola e la *resistenza* d'attrito risulta meglio diretta in senso contrario al moto, essa non può più passare inosservata.

Finalmente poi quando l'incidenza è nulla, è chiaro, si dice, che non resta più che la sola resistenza dell'attrito.

Ma può essere che l'aria produca un attrito apprezzabile? Noi dobbiamo negarlo.

⁂

L'attrito dei corpi in genere è un conto aperto per registrarvi una moltitudine di partite che non si potrebbero altrimenti registrare: è il conto profitti e perdite. Generalmente lo si ritiene esser dovuto alle imperfezioni delle superfici che, pressate fra di loro, devono scorrere una sull'altra. Certamente che delle superfici scabre oppongono allo scorrimento, l'una sull'altra, una resistenza maggiore che non le superfici liscie, e questo genere d'attrito lo chiamerei *attrito materiale*; ma esso non è l'attrito, o per lo meno è un attrito *voluto* perchè non abbiamo che da rendere le superfici ben levigate e lubrificate per farlo cessare; il grasso che aderisce alle superfici, non è facile a spremere via; ci vogliono delle pressioni esagerate. Esso riempie le invisibili cavità che possono rimanere su delle superfici già levigate, ed allora queste le possiamo considerare come superfici prive di asperità. Ma l'attrito vero, quello che è un fenomeno fisico inevitabile, persiste egualmente e noi dobbiamo sempre ammetterlo anche si trattasse di super-

Digitized by Google

fici geometriche ideali, e la supposizione abituale — superfici prive d'attrito — non ha senso, se si intende che la mancanza d'attrito si deve alla perfezione, sia pur ideale, delle superfici.

È la prima idea che si affacia alla mente, quella che ali scabre debbono trovare nell'aria una resistenza d'attrito materiale, perchè le scabrosità costituiscono una moltitudine di altre piccole superfici, le quali trovando ciascuna una resistenza propria, dànno certamente una somma di resistenze dannose. — Ma il fenomeno di cui abbiamo trattato non va dovuto ad imperfezioni della superficie, perchè si riproduce identico con le più levigate superfici che si possono ottenere, e non può essere attrito vero, perchè l'attrito dell'aria non esiste o per dir meglio esso non è, e non può essere, che la resistenza *normale* del fluido; insomma, quella stessa prevalenza di pressione sulle superfici che vanno contro il fluido rispetto a quella sulle superfici che se ne allontanano. — Questo è il *vero attrito* dell'aria ed esso dovrebbe essere normale alla superficie che lo riceve, non sul piano dell'ala.

***

Io non so se la giusta spiegazione dell'attrito dei solidi sia già stata data; a me non consta e dò qui la mia.

L'attrito è dovuto alla *deformazione* che i corpi pressantisi uno sull'altro producono fra di loro.

Ci è impossibile ammettere che un corpo supporti una pressione senza deformarsi, perchè è soltanto la *deformazione* la quale può produrre nel corpo solido la facoltà di resistere all'azione esterna. La resistenza di un corpo solido, si sa e si dice, non è che la sua *resistenza alla deformazione*, ciò che equivale ad ammettere la deformazione stessa. Così, per esempio: Se i binari di una ferrovia resistono al peso della locomotiva, è perchè le ruote schiacciano il binario produ-

Digitized by Google

cendovi due piccole curve, ai punti di contatto, schiacciandosi esse stesse. E la resistenza d'attrito alla *trazione*, va dovuta allo schiacciamento continuo che la ruota fa di quel piccolo rilievo che si trova aver davanti e che costituisce l'orlo anteriore dell'infossamento che col suo pondo produce. Talchè se è vero che il binario sia orizzontale per la strada, non è più vero per la ruota che si trova dover superare un continuo *dislivello*, quello che insiste fra il fondo e l'orlo del piccolo infossamento di poc'anzi. E questo dislivello che è *proporzionale al carico*, determina la *resistenza d'attrito* nè più nè meno come per l'ala piana in moto in un fluido, la sua pendenza rispetto alla linea del moto determina la resistenza del fluido. Ancora:

Figuriamoci un blocco pesante su un piano inclinato (fig. 4). È impossibile che noi ammettiamo che il piano resista al peso del blocco se prima non lo supponiamo deformato di una certa quantità, là dove si fa sentire l'azione del peso, e perciò dobbiamo supporre il blocco infossato di una infinitesima quantità nel piano — se questo è di materia durissima — se fosse di materia molle, lo vedremmo infossato cogli occhi del corpo.

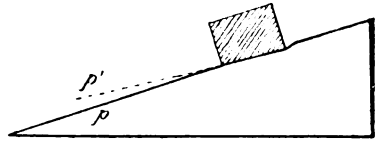


Fig. 4.

La pendenza del piano sarà una certa p, per esempio; ma se il blocco scivola, la pendenza che determina la sua forza motrice non è la p bensì un'altra più piccola, perchè il blocco per scivolare deve superare di seguito il piccolo rilievo che il suo infossamento produce di continuo, di modo che fra la

Digitized by Google

pendenza p del piano e la più piccola p', *della base del blocco*, corre un rapporto che determina il *coefficiente d'attrito* o viceversa; nè più nè meno come avverrebbe di un'ala piana, in moto nell'aria od altro fluido. E come la pendenza della base del blocco **rispetto alla linea del suo moto** determina il coefficente d'attrito di un solido, così la pendenza dell'ala **sulla linea del moto** determina il coefficiente di attrito di un fluido. Quantunque ben differenti nella forma materiale, nella forma ideale i due fenomeni sono identici e la sola sostanziale differenza è che per la resistenza del fluido nel nostro caso l'immersione del corpo è completa, mentre per i solidi è solo parziale ed inoltre minima. L'analogia è più stretta nel caso di resistenza dei fluidi a corpi galleggianti (*).

In realtà l'attrito è dovuto all'*angolo di incidenza che il corpo in moto deve prendere* per scorrere sul corpo fisso, facendosi da quello sopportare, nè più nè meno come avviene alle ali per farsi sopportare dall'aria. Non solo, ma anche il *meccanismo* del fenomeno è analogo nei due casi. Anche nel caso del blocco in moto sul piano inclinato, il corpo in moto è preceduto e seguito da un'onda di materia che va a morire all'estremità del corpo supportante, come le onde del mare vanno a morire sulla spiaggia.

Sono onde infinitesime; ma intanto noi vediamo tutti i corpi sottoposti a pressioni scorrenti in un sol senso, laminarsi, e col tempo, sensibili quantità di materia sporgere alle estremità, sotto forma di bavature.

I binari delle ferrovie per loro buona sorte sono laminati nei due sensi ma, per esempio, tutti i cuscinetti sopportanti pressioni forti, si ingrossano tutti dalla parte verso cui scorre la pressione, a spese delle parti ove lo sforzo incomincia, e molti operai che conosco, sanno oggi perfettamente dove

(*) Se ne concluderebbe che il coefficiente d'attrito diminuisce nei solidi quando la velocità aumenta?

Digitized by Google

metter le mani quando un cuscinetto scalda, e sanno sopprimere all'istante il difetto!

***

In conclusione! l'attrito materiale dell'aria non può essere ammesso se non nel caso dell'impiego di superfici scabre, caso che noi non consideriamo, ed il fenomeno per il quale alla resistenza normale del fluido si aggiunge una resistenza " tangenziale „ resta per ora inesplicabile.

***

Ma altri fatti strani noi andiamo a rilevare.

Abbiamo detto che ognuno sa che un'ala piana trova la resistenza massima al suo moto, quando è mantenuta all'incidenza massima — 90°. Sembra naturalissimo ammettere che ciò debba avvenire anche se l'ala è un po' concava, anzi si direbbe: meglio ancora!

Ebbene le ali curve, invece, trovano la loro maggiore resistenza non quando si tengono all'incidenza 90°, sibbene nei pressi di 15°, cioè a un angolo relativamente molto acuto con la direzione del moto! — Ancora:

Dato un corpo fusiforme, per esempio, del quale un'estremità è tozza od ottusa e che poi va man mano affilandosi a misura che si procede verso l'altra estremità, ognuno supporrebbe che la minor resistenza al moto corrisponda al caso in cui il corpo muove contro il fluido con la punta più affilata. È il contrario invece che succede, e con quanta differenza! (*).

(*) Si vede da ciò che la natura non si è sbagliata, dando ai pesci grossa la testa e affilandoli verso la coda. Si sono invece sbagliati gli ingegneri navali!

Digitized by Google

Data un'ala in moto con un'incidenza di 90° che sia, per esempio, un quadrato di 20 cm. di lato — e che poi si aggiunga al sistema in moto una seconda ala distante, per esempio, 20 cm. dalla prima od anche 30 e poi una terza, distante altri 30 cm. ecc, ognuno direbbe che ogni volta che si aggiunge una nuova ala, si deve aggiungere una nuova resistenza al moto; ed invece se ne toglie!

***

La discussione di questi fatti porta all'inevitabile conclusione che in materia di resistenza di fluidi le previsioni sono impossibili e che bisogna rassegnarsi a determinare tutto con l'esperienza, **caso per caso**. Un po' di luce sull'argomento ci è venuto da esperienze recenti, segnatamente per quelle eseguite con mezzi potenti e con lodevole rigore dall'Ingegnere *Eifel*, il costruttore della torre che porta il suo nome. Egli ha dimostrato: 1° che la maggior parte della resistenza va dovuta non all'urto del fluido sulla superficie ventrale ma al vuoto parziale che si fa sulla superficie dorsale e che perciò, anche per altre forme di solidi sperimentate, non sono le forme di *prua* quelle che importano di più, bensì quelle di *poppa*; 2° che il battente delle ali devia fortemente i filetti fluidi che incontra e li fa allontanare di molto dal loro cammino, in modo che la parte dorsale prossima al battente è sempre accompagnata da una gobba di fluido quasi stagnante a pressione minore dell'ambiente (*); 3° che i fluidi compressi sul ventre e rarefatti sul dorso finiscono per incontrarsi dopo il passaggio dell'ala, secondo la direzione ad essi comunicata dagli elementi estremi dell'ala, e continuano a mantenere queste direzioni fino ad una considerevole distanza dall'ala

(*) Vedi fig. 3.

Digitized by Google

medesima e che in prossimità del ciglio hanno luogo delle *depressioni* non ben definite.

***

Sappiamo così che l'impressione di stranezza che ci producevano i fatti segnalati più dietro, andava dovuta alla nostra falsa concezione del fenomeno; la massima parte della resistenza — dice l'Ing. Eifel — e lo prova — non va dovuta all'urto del corpo contro il fluido, ma bensì al fatto che il fluido *non riempie* abbastanza rapidamente il vuoto che il corpo fuggente lascia dietro di sè. Voi mettete tutta la vostra attenzione — dice giustamente l'Ing. Eifel — a considerare solo ciò che succede davanti e invece è dietro che dovete guardare, perchè è là che il fenomeno manifesta la sua maggiore intensità. E difatti egli dimostra che la parte dovuta all'urto è alle volte solo $^1/_5$ della resistenza totale.

In conclusione, per ora almeno, per tutto ciò che riflette il modo di comportarsi del fenomeno della resistenza dell'aria al moto dei diversi corpi in essa immersi, non possiamo far altro che ricorrere all'esperienza; e siccome ad ogni variazione di forma che il mobile presenta *rispetto alla direzione del moto*, vi ha sempre una variazione di resistenza, non determinabile analiticamente, così si è costretti a ripetere tante esperienze quanti sono i cambiamenti di posizione che si fa subire al corpo *rispetto alla linea del moto*. Così, per esempio, per le ali bisogna determinare sperimentalmente la resistenza successivamente a tutti gli angoli di incidenza che possono interessare. Le soli leggi che si possono esprimere in numeri e che si trovano verificate con sufficente approssimazione per gli usi pratici, sono quelle della proporzionalità al quadrato della velocità ed alla estensione della superficie, quando si tratta di superfici press'a poco simili.

Digitized by Google

§ 15. **Spinta alare.**

Noi ora andiamo a passare in rapido esame i risultati di esperienze su ali piane ed ali curve per conoscere, per prima cosa, *come si rappresenti con una forza unica che diremo* **spinta alare**, l'effetto che la resistenza dell'aria produce su un'ala in moto.

Preveniamo il lettore che gli " angoli di volo „, cioè gli angoli di incidenza delle ali impiegate nel volo meccanico, non vanno mai oltre i 15° e che perciò noi limitiamo le nostre ricerche ai 15°. Qua e là diamo anche dei risultati per angoli maggiori, ma solo a titolo di " maggior informazione „.

Digitized by Google

CAPITOLO V.

Risultati d'Esperienze.

Noi possediamo oggi una serie di esperienze su ali piane e curve sufficente per darci affidamento nel fare il calcolo della superficie necessaria a reggere in aria un dato peso con un dato dispendio di forza motrice.

Il Maxim (Hiram) in Inghilterra fu uno dei primi a far esperienze concludenti ed utili all'aviazione su ali curve, e questo data fin dal 1892 — 19 anni fa! Senonchè egli tenne sempre segreti i suoi studi e non li pubblicò che nel 1909, quando ebbe constatato l'inutilità delle sue precauzioni. Il Prof. Langley di Filadelfia in America, il Lilienthal, il Philipps e molti altri e per ultimi l'Ing. Rateau e l'Ing. Eifel hanno pure pubblicato risultati di esperienze. Ho già parlato di quest' ultimo e francamente dichiaro che fra tutte le esperienze che sono a mia cognizione le sue sono quelle che mi sento l'obbligo di mettere al primo posto.

***

Ora cominceremo dalle ali piane, per le quali sono costretto a ricorrere a diverse fonti, perchè le esperienze stesse dell'Ing. Eifel sono ristrette ai 10° partendo dai 90°, mentre per l'aviazione, e specialmente per le ali piane che pure vi hanno qualche impiego, interessano più gli angoli prossimi a zero gradi, di quelli a 90°.

Digitized by Google

La tabella seguente — I — riassume i risultati di esperienze, come dissi, di vari e il diagramma ne dà la riproduzione grafica (fig. 6ª linea punteggiata). Come si vedrà ho chiamato *spinta alare* la risultante dell'azione totale dell'aria sull'ala in moto, cioè la forza unica che rappresenta in *direzione intensità* e *punto d'applicazione* la prevalenza totale della pressione ventrale sulla pressione dorsale.

La tabella dà il valore della spinta alare ai diversi angoli, supposto — 1 metro essere la velocità del moto — ed un metro quadro la superficie dell'ala — cioè dà la *spinta alare unitaria* o *coefficente della spinta alare* per ciascun angolo. Moltiplicando questo coefficente per il numero dei metri quadri S, di che si compone una superficie qualsiasi e per il quadrato del numero V, esprimente la velocità in metri, si avrà la spinta alare rispondente a un dato angolo α, cercando nella tabella il coefficente che corrisponde all'angolo α gradi e moltiplicando per $S.V^2$. Sicchè chiamando Z il valore in grammi della spinta alare, sarà

$$Z = VS^2 \times \text{coefficente } \alpha.$$

Tabella I.

Angoli di incidenza α	Spinta alare per metro quadro e metro velocità coeff. α gr.	Distanza del centro di pressione dal battente	Angolo della spinta alare con la normale al piano alare φ
2°	11	$^{40}/_{150}$ della largh.	+ 5°
4°	22	$^{45}/_{150}$ „	+ 4°
6°	33	$^{48}/_{150}$ „	+ 3°.30
8°	40	$^{51}/_{150}$ „	+ 3°.10
10°	45	$^{53}/_{150}$ „	+ 3°
12°	48		+ 2°
20°	50	$^{58}/_{150}$ „	+ 1°.5
30°	57	$^{61}/_{150}$ „	— 0.1′
90°	73		

Digitized by Google

Commentiamo:

È risaputo da molto tempo (AVANZINI, principio secolo scorso) che la resistenza dell'aria, ad un sottil piano, dà una risultante che passa per il centro di figura soltanto per incidenze prossime a 90°, mentre invece, man mano che l'incidenza si fa acuta, il punto per il quale passa la spinta alare si fa di più in più vicino al battente, fino a che non si trova più dal battente che ad $\frac{1}{4}$ della larghezza dell'ala; e questo sembra essere il limite estremo. Nella terza colonna sono segnati in frazioni della larghezza dell'ala, le distanze fra battente e punto per il quale passa la spinta alare. Nella quarta colonna finalmente sono segnati gli angoli che la nominata spinta fa con *la normale al piano alare.* Abbiamo già detto che se la prevalenza della pressione sulla faccia che investe il fluido fosse la *sola* azione esercitata dall'aria, la risultante sarebbe una forza *normale* al piano a *tutti* i gradi d'incidenza; ma siccome l'azione del fluido sul battente e sul ciglio dànno luogo ad una forza diretta nel piano dell'ala, così la risultante totale non è più sempre normale al piano alare. Si osserverà che per l'angolo di 30°, che abbiamo segnato in più, l'inclinazione della spinta alare è in favore, per quanto di pochissimo, del moto. Ciò dimostra una volta più che l'attrito non c'entra nel fenomeno, perchè mai l'attrito potrebbe dare una forza nel senso del moto, per quanto piccola. L'inclinazione della spinta alare con la normale al piano potrebbe essere molto maggiore facendo l'ala di gran spessore e superfice scabra; ho segnato " la minore osservata „, che sarebbe poi quella che corrisponde ad un'ala piana " ben confezionata „ e sottile.

***

L'attento lettore osserverà che dopo i 10 gradi la spinta alare che da zero a dieci sale rapidamente, non aumenta più

Digitized by Google

che di piccole quantità mentre, come vedremo, si fa grandissima la resistenza al moto; non conviene dunque l'impiego di angoli di incidenza grandi.

Se noi rappresentiamo con una retta A A′ il profilo di un'ala piana (fig. 5ª) e segniamo su di essa le posizioni dei centri di pressione per le diverse incidenze, secondo i dati della tabella e pei punti così ottenuti facciamo passare altre rette indicanti le spinte alari, con la rispettiva inclinazione

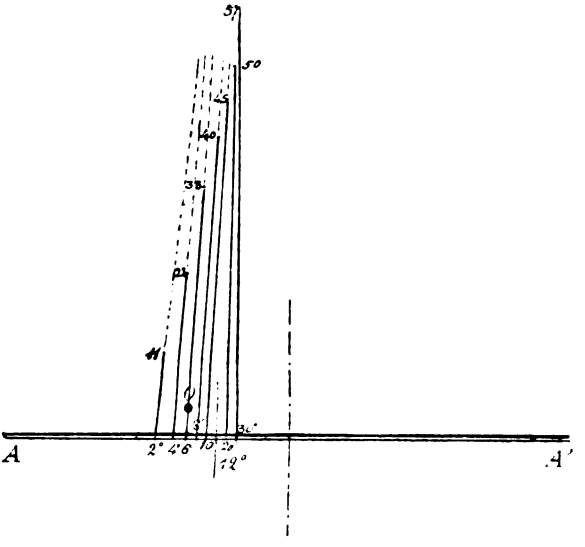


Fig. 5. — Ala piana. Spinte alari.

secondo i dati della tabella medesima, avremo la fig. 5ª (*), dalla quale ci appare manifesto il cambiamento di posizione ed intensità, più che il cambiamento di direzione della spinta alare col variare della incidenza. Anzi dalla fig. 5ª si ha l'im-

(*) Si osservi che le spinte alari sono concorrenti verso la parte superiore dell'ala.

Digitized by Google

pressione che la spinta alare si conservi, dopo tutto, molto prossimamente perpendicolare al piano alare, e che questo preoccuparsi tanto per delle piccole differenze d'inclinazione sia poi, in fin dei fini, una di quelle solite ricerche di quantità piccole, *così care ai teorici*, ma delle quali la pratica nulla si cura. Infatti lo scarto dai 90° si riduce poi al massimo a 5°. Però se si premette, e si riflette, che gli angoli di volo non sono neppur essi mai molto maggiori ai 5°, e che è relativamente a questi angoli che si dovrà in seguito tener conto della direzione della spinta alare, si comprenderà di leggeri qualmente, anche uno scarto di pochi gradi, può avere grande importanza, e vedremo che lo ha.

§ 16. **Ali curve.**

Vediamo ora come si comportano le spinte alari per le ali curve. Per questo genere d'ali si restò per lungo tempo nella più perfetta oscurità. Le esperienze e i dati del Lilienthal, che furono i primi pubblicati e sono tutt'ora sovente invocati, sono di tal natura da non poter essere di nessuna guisa apprezzati.

Il Maxim, come già abbiamo detto, possedeva fin dal 1891 dei dati concludenti tratti da esperienze proprie su ali curve, ma non è che due anni fa che li ha pubblicati.

Altro diligente osservatore, l'ing. Forlanini di Milano, era pure in possesso di dati che si era procurati con esperienze proprie; ma nemmeno delle sue esperienze si è mai potuto sapere qualche cosa. Qualche dato incerto qua e là era riuscito a racimolare, ma tutti partenti da esperienze troppo affrettate, per non dir altro e non è che nel 1910 che finalmente sono apparsi dei sunti — niente più — di esperienze eseguite dall'ing. Rateau, e più tardi il resoconto di splendide

Digitized by Google

esperienze dell'ing. Eifel sulle ali curve, esperienze che meritano d'essere ricordate e sulle quali si può fare assegnamento.

Ritorneremo più tardi sulle esperienze del Rateau, del Maxim; per ora dò qui alcuni dei risultati delle esperienze Eifel.

Dico risultati dedotti, perchè le tabelle pubblicate dànno i risultati di 5 in 5 gradi. Per i gradi intermedi li ho dedotti costruendo dei diagramma.

La tabella II che segue, divisa in colonne aventi lo stesso significato della I, dà i *risultati dedotti* dalle esperienze Eifel su un'ala curva, freccia $\frac{1}{13.5}$ della corda, centina cilindrica.

Tabella II.

Angoli di incidenza α	Spinta alare per m. q. e m. vel. in grammi	Distanza (sulla corda?) dal centro di pressione al battente	Angolo della spinta alare con la normale alla corda φ
— 2	21	?	?
zero	34	$^{77}/_{150}$	+ 5°.8′
2	44	$^{71}/_{150}$	+ 3°
4	53	$^{67}/_{150}$	+ 2°
5	55	$^{65}/_{150}$	+ 1°.2
6	60	$^{63.5}/_{150}$	+ 0°30′
8	67	$^{60}/_{150}$	—
10	73	$^{57}/_{150}$	— 2°.8′
12	77	$^{56}/_{150}$	
15	78.50	$^{55}/_{150}$	— 2°.7′
20	72	$^{64}/_{150}$	— 0°.1′
30	71	$^{67.5}/_{150}$	— 0°.3′
90	76.4	$^{65}/_{150}$	0°

La figura 6ª, linea piena, ne dà la riproduzione grafica mediante diagramma e finalmente la figura 7ª, analoga alla

Digitized by Google

precedente delle ali piane, ci mostra a colpo d'occhio come variano di posizione, intensità ed inclinazione le spinte alari variando l'incidenza.

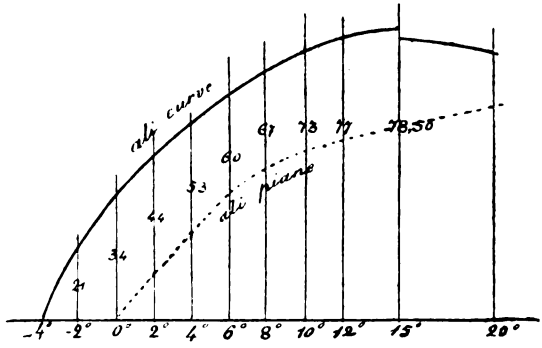


Fig. 6.

Diagramma delle spinte alari per ali piane ..... e curve ———.

***

Commentiamo: Il lettore osserverà che le spinte alari di un'ala curva concorrono grossolanamente in un punto *sotto l'ala*, il quale potrebbe giustamente prendere il nome di centro di pressione dell'ala, perchè per quel punto passerebbe *sempre* la spinta alare, comunque la si presenti al vento — nei limiti degli angoli che si studiano, cioè dai zero gradi ai 15°; mentre non è che abusivamente, e per amore di brevità, che si dice centro di pressione dell'ala a un dato angolo di incidenza il punto di essa, o della sua corda, per la quale passa la spinta alare. In ogni caso il lettore avvertirà qualmente l'andamento del detto centro di pressione nell'ala curva sia *inverso* di quello che è nell'ala piana, cioè:
mentre nell'ala piana il centro in discorso si *allontana* dal centro di figura man mano che l'incidenza si fa più acuta,

Digitized by Google

avvicinandosi al battente, il contrario succede nell'ala curva; perchè qui invece, il centro di pressione si *avvicina* al centro di figura, ed anche lo oltrepassa, man mano che l'incidenza si fa più acuta; e non è che per incidenza superiore ai 15°, cioè per angoli che in aviazione non si utilizzano più, che detto centro *ripiglia l'andamento medesimo di quello dell'ala piana.* — È molto importante notarlo.

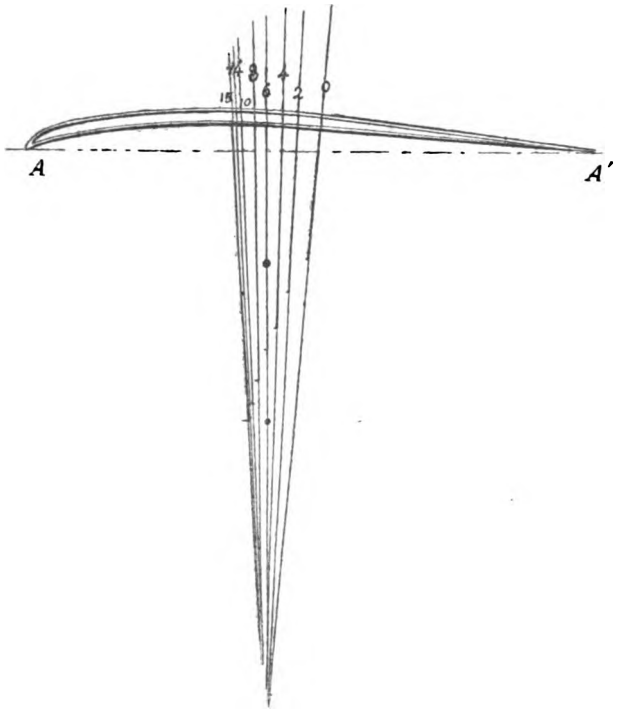


Fig. 7. — Ala curva. Spinte alari.

Il lettore osserverà inoltre che al disopra dei 15°, la spinta alare non cresce più e che in prossimità di detta incidenza, da una parte e dall'altra, si può dire non varia più sensibilmente, sia la spinta, che il suo punto di applicazione; a

Digitized by Google

circa 16°, che sarebbe l'angolo per il quale la direzione del moto è *tangente al profilo*, succede " scontinuità „ nel fenomeno, cioè vi ha salto brusco da un andamento a un altro anche nelle spinte alari. Questo fenomeno era stato constatato anche dall'ing. Rateau.

Fra zero e dieci gradi — che sono poi gli angoli di volo — la curva del diagramma si può praticamente ritenere essere una retta, ed allora si ha che per le applicazioni pratiche, si può ritenere essere all'incirca:

$$\text{Spinta alare unitaria} = 4\alpha + 34 \text{ grammi.}$$

Ove α esprime il numero dei gradi (sessagesimali) dell'angolo di incidenza.

Anche per l'ala curva c'è svantaggio nell'impiego di incidenze sopra ai 10°, perchè la spinta alare cresce pochissimo mentre, come vedremo, cresce molto la resistenza al moto.

§ 17. Centro di pressione nel moto obliquo.

Le figure 6 e 7 rappresentano profili di ali in moto secondo quanto si è convenuto al § 10, pag. 28, e il moto è supposto normale, cioè contenuto nel piano del disegno; in tal caso anche la spinta alare è nel piano del disegno.

Quando ciò non è, e il moto si suppone essere obliquo, anche il centro di pressione non è più contenuto nel piano del disegno, che sarebbe il piano di simmetria dell'ala, ma esso si porta fuori di mezzaria, da quella parte verso la quale ha luogo l'obliquità del moto.

Se per comodità si suppone l'ala ferma ed essere l'aria che invece si muove, il moto è normale quando la direzione del supposto vento è *parallela al piano di simmetria* — obliquo in

Digitized by Google

caso contrario; e si dice *sopravvento* la parte verso la quale una persona si deve girare per far fronte al vento supposto obliquo — e *sottovento* invece la parte opposta, cioè quella verso la quale una persona dovrebbe girarsi per ricevere il vento sul dorso. Dunque il *centro di pressione si trasporta sempre sopravvento.*

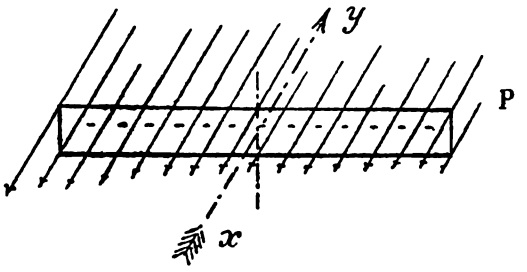


Fig. 8. — Centro di pressione nel moto obliquo.

Il fenomeno si spiega nel seguente modo. La figura 8 rappresenti in pianta, un'ala piana o curva di contorno rettangolare, che si suppone in moto obliquo, per esempio, nella direzione $x\ y$ da x verso y. Se noi dividiamo l'ala in gran numero di zone parallele ad $x\ y$ e di ciascuna segniamo la posizione del centro di pressione, avremo che tutte le zone, meno le due estremità triangolari, hanno trasportato il loro centro di pressione sopravvento — cioè nel caso della figura 8 — verso P, e perciò la risultante finale si trova spostata verso P.

Senza fermarci a discutere la maggiore o minore attendibilità della spiegazione, diremo che il fenomeno è troppo ben accertato per essere messo in dubbio, sopratutto per l'esperienza quotidiana del volo; ma ci manca ogni dato in proposito.

Si sa che ogni moto obliquo è accompagnato inevitabilmente dallo spostamento della spinta alare fuor dal piano di

Digitized by Google

simmetria, sempre sopravvento; si sa (1) che questo spostamento è più grande per le obliquità maggiori, e per le maggiori incidenze. Non si sa però esattamente di quanto. Ho tentato alcune esperienze in proposito, profittando del vento naturale; ma l'instabilità assoluta di direzione di quello, mi ha lasciato in grande incertezza. Tuttavia credo di poter stabilire che la spiegazione data è attendibile. Infatti se lo è, avverrà che per le incidenze prossime a zero, il centro di pressione trovandosi sul centro di figura o press'a poco, il moto obliquo non ne cambierà la posizione, e pare, che effettivamente ciò avvenga. Per le incidenze zero o minori, il centro di pressione trovandosi oltre il centro di figura, il moto obliquo dovrebbe farlo spostare sottovento; ed anche questo pare che precisamente avvenga.

D'onde ne consegue che, mentre il peso dell'ala ed annessi si trova *sempre* sul piano di simmetria, per ragione della simmetria, *il centro di pressione vi è solo quando il moto è normale*; in tutti gli altri casi è sopravvento — per incidenza sensibilmente maggior di zero. — E perciò l'immediato risultato di un moto obliquo, è quello di far **alzare l'ala sopravvento**, se l'incidenza è maggiore di zero.

E qui è tutto ciò che di preciso si conosce in materia di aviazione. Ed è con questo solo materiale che noi tenteremo e *forse* riusciremo, a trarci d'impaccio.

---

(1) Per meglio dire *non si sa*, però si può osservarlo nella esperienza *sopratutto del volo*.

Digitized by Google

CAPITOLO VI.

Componenti verticale ed orizzontale della spinta alare.

Le forze che sono in giuoco in un areoplano in volo, si riducono a tre sole *distinte*:

1° La forza di gravità, cioè il peso di tutto l'apparecchio persone e provviste, la qual forza è applicata al centro di gravità ed ha direzione costantemente verticale.

2° La forza propulsiva; generalmente fornita per la rotazione di una o più elici, in tutto simili — salvo le dimensioni e il materiale — a quella delle navi a vapore, le quali elici ricevono un rapido moto di rotazione a mezzo di un motore a benzina. Questa forza è ritenuta essere nella direzione del moto e normale al battente delle ali.

3° L'azione dell'aria su tutto l'apparecchio, persone, ecc. Quest'ultima è una forza complessa, risultante da una moltitudine di azione isolate, ma facile a scoprirsi nel suo effetto totale, con l'esperienza, sia per l'intensità come per la direzione e punto d'applicazione. Essa è la risultante di tutte le spinte alari, più tutte le resistenze passive opposte dall'aria, a scafo, persone, motore ed attrezzamenti. Essa varia d'intensità, posizione e direzione col variare della velocità e dell'incidenza, per la qual cosa — pur ritenendo costante il peso — ciò che non avviene mai in causa del consumo di combustibile, e costante la forza propulsiva, ciò che non è mai, causa

Digitized by Google

la natura della propulsione, bastano le variazioni di velocità o di incidenza o di natura del moto, per distruggere un equilibrio preesistente, quando non vi concorrono le agitazioni dell'aria.

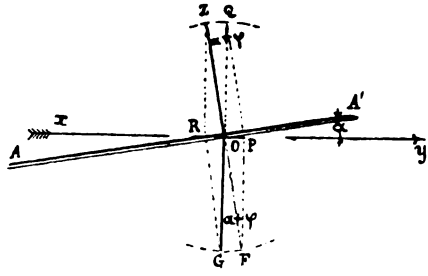


Fig. 9. — Componenti della spinta alare.

Se noi rappresentiamo con la retta AA' (fig. 9) un'ala in moto da x verso y nella direzione xy, incidente dell'angolo $\alpha = A'OP$, ed O è il centro di gravità, al quale è applicato il peso OG dell'ala ed annessi, ed al medesimo centro O supponiamo applicata, nella direzione e senso del moto, la forza propulsiva OP, componendo insieme OP con OG, avremo la loro risultante OF e l'equilibrio sussisterà ogni volta che la spinta alare *composta con tutte le altre azioni dell'aria sulle diversi parti all'apparecchio* darà una risultante OZ, eguale ed opposta alla OF.

Se supponiamo che questa condizione sia realizzata, il sistema delle tre forze OP — OG — OZ è in equilibrio assoluto; e la forza OZ composta con la OG darà una risultante OR eguale ed opposta alla forza OP (infatti il triangolo rettangolo OZR risulta eguale al suo opposto al vertice OPF).

La risultante di peso e spinta OZ, cioè la OR, la diremo *la resistenza al moto del sistema*, perchè è la risultante che equilibra la spinta motrice dell'apparecchio.

Digitized by Google

Componendo insieme la OZ con la OP si ha la risultante OQ, eguale ed opposta alla gravità OG. La risultante di spinta alare e propulsiva cioè la OQ la diremo la *forza di sospensione* o " forza portante „ dell'ala AA', perchè è la risultante che equilibra il peso dell'apparecchio e ne provoca la sospensione nello spazio.

***

Ammettiamo per un momento che la OZ rappresenti puramente e semplicemente la spinta alare dell'ala AA' e che altre resistenze del fluido non siano in giuoco.

Si ha l'abitudine di: 1° supporre il moto orizzontale; 2° di decomporre la spinta alare in due componenti OQ ed OR proiettando normalmente la OZ sulla direzione del moto che è dunque orizzontale e sulla sua normale che è dunque verticale, e si dà il nome di resistenza al moto dell'ala, alla componente " orizzontale „ OR e quello di forza di sospensione o portante dell'ala alla componente verticale OQ. — Infatti *numericamente* queste due componenti sono uguali — *nel volo orizzontale* — l'una, la OR, alla vera resistenza al moto del sistema cioè alla risultante di peso e spinta alare — l'altra, la OQ, alla vera forza di sospensione cioè alla risultante spinta alare e forza propulsiva.

Ma questo modo di considerare la resistenza al moto e la forza portante di un'ala, semplicemente come componenti della spinta alare, se non dà luogo ad inconveniente alcuno finchè si tratta solo di stimarne il valore, produce però dei risultati erronei se si applica tal quale al ragionamento. Per es., si parla in alcuni libri di centro di resistenza al moto di un areoplano, come di un punto che, secondo il genere dell'apparecchio, può trovarsi in varie posizioni; mentre invece non si può fare in modo che si trovi altrove che sulla propul-

Digitized by Google

siva. Come pure si parla di centro di gravità in alto o in basso come se ci fosse un centro di *sospensione fisso.*

Così non è nella realtà. La resistenza del fluido al moto dell'ala AA' è la OZ — *e nessun'altra*! E siccome questa resistenza è molto lontana dall'essere diretta in senso opposto al moto, così è impossibile mantenere l'ala sulla sua trajettoria col solo intervento della spinta motrice OP, che è diretta invece sulla linea del moto; perchè è impossibile che una forza possa equilibrarne un'altra che fa con essa un angolo, che per giunta è rilevante. È necessario l'intervento di un'altra forza, che non ha bisogno di esser motrice, e che potrebbe essere, per esempio, la resistenza di una guida, di una corda, ecc., ecc., la quale, composta con la spinta alare, dia una risultante esattamente opposta alla spinta motrice.

Nel nostro caso questa terza forza è il peso del sistema, e perciò la resistenza all'azione della forza motrice, cioè la resistenza al moto del sistema, altro non sarà che la risultante di peso e spinta alare; perchè è solo dopo che avremo aggiunto il peso, che avremo ottenuto l'equilibrio con la forza propulsiva e sarà alla risultante delle due che si dovrà applicare la denominazione di resistenza al moto e questa resistenza al moto *necessariamente* si trova — nell'equilibrio — direttamente opposta alla propulsiva. Altrettanto dicasi della forza di sospensione. — La terza forza — il peso — che si doveva aggiungere per ottenere l'equilibrio con le due forze propulsiva e spinta alare, non poteva essere che eguale e opposta alla loro risultante; dunque è ben questa risultante quella che equilibra il peso e perciò è ad essa che si dovrà dare il nome di forza di sospensione.

Del resto poi le componenti orizzontale e verticale della spinta alare sono numericamente uguali alla resistenza al moto e alla forza di sospensione soltanto nel caso di volo orizzontale, negli altri casi si dovrebbe cambiare loro denominazione.

Digitized by Google

Per il momento noi contempliamo solo volo orizzontale e perciò siamo indifferenti sulla scelta dei termini e possiamo dire che: *nel volo orizzontale, astrazione fatta dalle resistenze passive delle restanti parti dell'apparecchio,* la resistenza al moto è la componente orizzontale OR e la forza di sospensione è la componente verticale OQ della spinta alare OZ (Non lo sono, ma gli sono eguali e fa lo stesso).

Queste due componenti sono i cateti di un triangolo rettangolo di cui la OZ è l' ipotenusa e del quale l'angolo compreso fra la OZ e la verticale è l' angolo d' incidenza α, aumentato o diminuito dell'angolo φ delle tabelle, corrispondente al valore particolare che si darà ad α.

Infatti (fig. 9) il piano alare fa con la direzione orizzontale del moto l'angolo α; dunque la normale a detto piano fa l'angolo α con la verticale.

Ma la spinta alare fa l'angolo φ con la normale al piano alare, dunque questa spinta fa con la verticale l'angolo $\alpha + \varphi$. Ed abbiamo allora per le relazioni geometriche che corrono fra gli elementi di un medesimo triangolo rettangolo:

OQ, forza di sospensione $= OZ \cos(\alpha + \varphi)$

OR, resistenza al moto $= OZ \operatorname{sen}(\alpha+\varphi) = OQ \operatorname{tang}(\alpha+\varphi)$ (a)

(φ preso col segno che ha nella tabella).

D'altra parte: per l'equilibrio deve essere non solo

$$OQ = OG = \text{peso del sistema:}$$

ma anche

$$OR = OP = \text{spinta propulsiva.}$$

Perciò per la (a):

spinta propulsiva = resistenza al moto = peso $\times$ tang $(\alpha + \varphi)$.

Digitized by Google

In una parola: la forza propulsiva, nel volo orizzontale, è uguale al peso moltiplicato per la *percentuale della pendenza* del piano alare, aumentata dell'angolo φ, od ancora: la forza motrice necessaria a produrre il volo orizzontale di un certo peso G, è quella medesima che occorrerebbe per far risalire, al medesimo peso G, una pendenza che facesse l'angolo $\alpha + \varphi$ con l'orizzonte.

Insomma: l'operazione di calcolare la forza necessaria per far volare un dato peso, è la medesima che si fa per calcolare lo sforzo di trazione necessario a far risalire ad un automobile od a un treno ferroviario una data pendenza. La pendenza — nel caso del volo — è la pendenza della spinta alare.

Si comincia già a intravvedere quanto interessa che sia piccolo l'angolo α e l'influenza enorme che può avere l'angolo φ.

***

Il Maxim, che avrò occasione di citare ancora, non vuole che si indichi l'inclinazione di un'ala rispetto al moto, cioè la sua incidenza, mediante l'angolo in gradi, nè che si faccia uso di seni e tangenti, perchè ciò — egli dice — crea imbarazzi al lettore. Egli impiega un altro metodo e dice: " un'ala inclinata di $^1/_8$ $^1/_{10}$ „ ecc. della sua larghezza. Egli sostiene che si sa così subito, che inclinazione ha l'ala e si conosce subito la sua resistenza al moto che sarà, egli pensa, $^1/_8$ $^1/_{10}$ del peso che supporta.

In verità il metodo del Maxim è ancora più imbarazzante dell'impiego dei seni e tangenti, quando l'argomento si complica. L'esperienza ha dimostrato che taluni, parlando di seni e tangenti, credono di pronunciare parole cabalistiche atte a spaventare il prossimo; ma in realtà nulla di più semplice. La tangente di un angolo, è la pendenza unitaria che un lato dell'angolo ha rispetto all'altro. Così, per esempio, se si dice

Digitized by Google

che la tangente di 10 gradi è 0,176, vuol dire che, mettendo orizzontale uno dei lati dell'angolo, l'altro si troverà avere la pendenza del 0,176 per uno del 1,76 per 10 del 17,60 per cento. Cosa vi può essere di più chiaro, è questione d'intendersi.

Così se supponiamo che l'incidenza di un'ala sia 5° gradi, scorrendo la tavola I delle ali piane, troviamo che φ, per $\alpha = 5°$, è $+4°$ circa, dunque: $\alpha + \varphi = 9°$. Scorrendo poi le tavole trigonometriche, troviamo che la tangente di 9° è 0,158; vuol dire che la spinta motrice dovrà essere il 15,8 %, cioè circa il 16 % del peso di cui l'ala si suppone caricata, se si vuole che quell'ala voli orizzontalmente.

Se facciamo il medesimo conto per un'ala curva, troviamo dalla tabella II che per $\alpha = 5°$, $\varphi = 1°.2$ e che tang $\alpha + \varphi$ è in questo caso la tang di 6°.2 e cioè 0,105. Concludiamo allora che per un'ala curva basta invece una spinta motrice che sia il 10.5 % del peso da trasportare. E già cominciamo a pensare che non sarà alle ali piane che ricorreremo per il volo. Ma se poi andiamo agli angoli ancora più piccoli, troviamo, per esempio, per le ali piane a 2° incidenza

$$\alpha + \varphi = 2 + 5 = 7°$$

e la tangente di 7° essere 0,122 ciò che vuol dire: forza motrice = 12,2 % del peso; mentre per le ali curve

$$\alpha + \varphi = 2 + 3 = 5°$$

e la tang di $5° = 0.087$ e perciò forza motrice l'8,7 % del peso.

Da questo, non solo vediamo l'utilità dell'impiego dell'ala curva, ma anche quale enorme spreco di forza motrice induca il non essere la resistenza del fluido normale alla superficie.

Per le ali piane incidenti di 2° abbiamo la resistenza al moto essere il 12,2 del peso, mentre sarebbe appena il 3.5 % se non

Digitized by Google

ci fosse l'angolo $\varphi°$; ciò vuol dire che la resistenza parassita, a 2° d'incidenza, quadruplica quasi lo sforzo motore per l'ala piana, mentre nell'ala curva lo rende più che doppio!

Non si tratta di bricciole, ma di 200 e 350 %.

La tabella III dà il valore delle componenti orizzontali e verticali della spinta unitaria di un'ala curva (freccia dorsale $^1/_{14}$) ed i loro rapporti per superficie 1 mq. e velocità di 1 metro, 1″.

Tabella III (ali curve freccia $^1/_{14}$)

α	OQ	OR	$\frac{OR}{OQ} = \text{tang}\,(\alpha + \varphi)$
Angolo di incidenza in gradi	Portata o componente verticale	Resistenza al moto o componente orizzontale	Rapporto fra le due componenti
0°	gr. 33	gr. 3.4	0.103
2°	41.4	4.4	0.106
4°	53.5	5.7	0.108
6°	58.1	6.5	0.112
8°	65.3	7.8	0.119
10°	72	9.1	0.126
12°	74	12.2	0.196
15°	76	17.5	0.230

§ 18. Rapporto fra le componenti.

Da quanto precede si capisce come molti cercatori siensi dedicati allo studio delle forme alari, nella speranza di scoprirne una che presenti — a parità di carico sopportato — la minima possibile resistenza al moto. E le ali furono definite di buona o cattiva qualità secondo *il rapporto tra le com-*

Digitized by Google

ponenti. È così che si è denominato il rapporto fra la componente verticale e la orizzontale dell'ala — pel volo orizzontale — il qual rapporto, se non vi fossero le parassite, sarebbe sempre la tangente trigonometrica dell'angolo di incidenza; ma che, causa le parassite, è invece la tangente dell'angolo $\alpha + \varphi$ per le ali studiate da Eifel. Molti — il Maxim per il primo — dànno risultati pei quali il detto rapporto può scendere (diminuendo l'incidenza) fino a $^1/_{16}$. Altri vanno fino a $^1/_{20}$ e perciò, se questi risultati fossero reali, si avrebbero ali che possono portare un peso = 20 volte la spinta motrice necessaria a mantenerle in velocità. Nelle esperienze di Eifel detto rapporto scende al minimo a $^1/_{10}$. E perciò le ali, che per distinguerle chiamerò Eifel, non portano che al massimo 10 volte la spinta motrice.

Io penso che il rapporto $^1/_{20}$ ed anche $^1/_{16}$ è illusorio. Anche accettando come esattissimi i risultati del Maxim e dell'ingegnere Rateau, che dà anche lui dei casi di rapporti piccoli, il risultato finale resta sempre scarso.

***

Infatti: cominciando dal Maxim, dal suo libro " Il volo naturale ed il volo artificiale „ rileviamo i dati seguenti:

Per la velocità di metri 18.22 per 1", di un'ala che (bisogna indovinarlo) sarebbe di 90 cm. di battente per 30 cm. di larghezza, si ha:

Digitized by Google

Tabella IV

Incidenza =	Componente verticale grammi	Componente orizzontale grammi	Rapporti
1/16 = 3°.35′	2473	168	$\frac{1}{14.8}$
1/12 = 4°.45′	2772	244	$\frac{1}{11.35}$
1/10 = 5°.40′	3157	317	$\frac{1}{10}$ circa
1/8 = 7°.10′	4124	493?	$\frac{1}{8.4}$ circa
1/7 = 8°.10′	4500	657	$\frac{1}{6.8}$
1/6 = 9°.30′	4084	793	$\frac{1}{5.9}$
zero gradi	947	95	$\frac{1}{10}$ come a 5°.40′

Pur accettando questi risultati come corretti e tralasciando di osservare che sconcordano con il rapporto che il Maxim stesso dà per l'incidenza zero, che segna un salto brusco, col soccorso della tabella andando alla ricerca della portata e resistenza unitaria, cioè a quella che corrisponde a 1 metro quadro di superficie per un metro di velocità, acciocchè i paragoni sieno possibili, si arriva ai seguenti risultati:

Tabella V

Maxim =	Portate grammi	Resistenze unitarie grammi
3°.35	27.45	1.86
4°.45	30.76	2.40
5°.40	35.04	3.51
7°.10	45.11	5.47
8°.10	49.95	7.29
9°.30	51.99	8.80

Digitized by Google

d'onde vediamo che se le ali Maxim dànno rapporti piccoli, nel tempo stesso le portate o componenti verticali del Maxim sono molto al disotto di quelle Eifel. Per la qual cosa per portare il medesimo peso occorre impiegare ali di maggior superficie.

Ma se non ci curiamo della superficie e diciamo: che importa che le ali debbano essere più grandi, purchè sia minore la forza assorbita, allora avremo raggiunto il risultato di portare effettivamente a una data velocità, un dato peso con minor dispendio di forza motrice.

Ma si può anche ragionare in un altro modo, pur essendo nel giusto, e dire: non ci curiamo della velocità, ma guardiamo al dispendio di forza motrice necessario per far volare un dato carico con una data superficie e facciamo il confronto fra le due qualità d'ali sotto questo aspetto.

Andiamo perciò a cercare a qual velocità dovrebbe andare 1 mq. di ala Eifel per portare soltanto gr. 27.45 per metro quadro come porta un'ala Maxim. Siccome la resistenza dell'aria varia col quadrato della velocità, e con essa resistenza variano tutte le sue componenti, così per passare dal carico di gr. 46 Eifel (*) a quello di gr. 27.45 Maxim, la velocità dovrà ridursi da 1 m., com'è considerata essere nelle tabelle, a $1 \times \sqrt{\frac{27.45}{46}}$. E la resistenza varierà nel rapporto del quadrato di codesta nuova velocità, cioè nel rapporto $\frac{27.45}{46}$.

Cioè a dire: invece di essere per Eifel il peso moltiplicato per $\frac{1}{9.5}$ sarà:

$$\text{Resistenza} = \frac{1}{9.5} \times \frac{29.45}{46} = \frac{27.45}{437} = \frac{1}{17}, \text{ circa};$$

minore dunque di quella dell'ala Maxim!

(*) Per gradi 3°,35.

Digitized by Google

Ma questo non è tutto.

Il lavoro motore che determina la potenza del motore, il suo peso e il consumo di combustibile, è eguale al prodotto della resistenza al moto per la velocità; e perciò nell'ala Maxim sarà in chilogrametri

$$\frac{\text{peso}}{14.8} \times 1^{m} \text{ velocità} = \frac{\text{peso}}{14.8}$$

nell'ala Eifel

$$\frac{\text{peso}}{17} \times \sqrt{\frac{27.45}{46}} = \frac{\text{peso}}{17} \times \frac{5.24}{6.78} = \frac{\text{peso}}{20} \text{ circa.}$$

D'onde si vede che il vantaggio finale è, in questo caso, enorme per l'ala che porta di più. Non basta tener conto solo del rapporto delle componenti per stabilire la qualità di un'ala; bisogna inoltre tener conto della sua facoltà portante, e se si tien conto di tutto, risulta, lo vedremo più avanti, che di tutte le ali finora assoggettate ad esperienze conosciute, le più vantaggiose a parità di tutte circostanze, sono quelle a curvatura ben accentuata, come, per es., quelle che ho contraddistinte col nome di Eifel.

È inutile ch'io riporti in modo particolareggiato le esperienze dell'ing. Rateau.

Per quanto concerne le posizioni e direzioni delle spinte alari egli, che ha preceduto l'ing. Eifel nella pubblicazione, dà dei risultati non molto differenti da quelli già da noi riportati, ma non però così ben accertati. Per i rapporti delle componenti, per esperienze fatte su diverse forme d'ali, conclude per certi rapporti molto piccoli, ma sempre a condizione di carichi unitari minori, ed allora ogni convenienza sparisce.

Digitized by Google

***

Da poco tempo in qua i costruttori di areoplani si sono messi in mente di raggiungere velocità straordinarie, 110-120 chilometri all'ora, ricorrendo a forze motrici spettacolose, per un areoplano. La prima difficoltà nella quale si sono urtati è stata quella della impossibilità del volo orizzontale. La gran velocità porta, anche agli angoli d'incidenza i più piccoli possibili, la spinta alare a sorpassare talmente il peso, che l'apparecchio o monta sempre o bisogna diminuire la velocità, ciò che i costruttori appunto non vogliono.

Allora essi hanno escogitato l'artificio di fare le ali quasi piane, nel ventre, perchè portino meno e di forme tali — dicono — da rendere nel tempo stesso piccolo il rapporto fra le componenti. Supposto anche che ciò sia realmente — cosa non ancora ben provata — si avrebbe che la spinta alare si conserva praticamente *normale alla corda*, fino ad angoli d'incidenza molto piccoli. Mancano finora dati precisi in proposito e non posso parlarne. Risulta però dall'esame dei diagrammi Rateau, che ha sottoposto ad esperienza diverse forme d'ali, che l'andamento del centro di pressione si conserva quello delle tabelle da noi già discusse. Cioè a dire: che se si può influire sul rapporto delle componenti, non sembra che altrettanto si possa per l'andamento delle spinte alari, per quanto riguarda lo spostarsi del centro di pressione variando l'incidenza. La qual cosa non deve meravigliare, se si riflette che è la centina dorsale e non la ventrale che più determina quest'andamento. Il Maxim non si è preoccupato della posizione del centro di pressione od almeno non ne parla.

Digitized by Google

***

In quanto alle ali piane esse servono solo per i piani di governo, cioè *impennaggi* e *timoni* che devono prendere l'aria ora su una faccia ora su l'altra. La loro utilità risiede nel fatto che per incidenza zero, dànno spinta zero, mentre così non è nelle ali curve, il cui uso sarebbe assai imbarazzante come piani di governo destinati a funzionare sulle due facce. Invero, in tal caso darebbero risultati completamente differenti, secondochè la parte che si presenta al fluido è la concava o la convessa.

Impiegate come ali sostentatrici, le ali piane *portano poco* e *resistono molto*, e perciò assorbono un lavoro motore doppio, triplo delle ali curve e sono assolutamente da scartare.

***

Resta dunque inteso che negli apparecchi dei quali noi andiamo a studiare l'equilibrio, le ali sono curve, come quelle definite or ora. Ed ora che possediamo gli elementi necessari per poter discutere con conoscenza di causa, entriamo nel vivo dell'argomento.

Digitized by Google

CAPITOLO VII.

Equilibrio longitudinale.

Abbiamo già detto che gli spostamenti, dalla posizione di equilibrio, possono considerarsi come rotazioni intorno all'asse longitudinale od all'asse trasversale dell'apparecchio od intorno ad entrambi ad un tempo. Cominciamo dagli spostamenti intorno all'asse trasversale, i quali costituiscono gli *squilibrii longitudinali.*

La meccanica (razionale) insegna che un mobile libero nello spazio, sottoposto all'azione di forze diverse, prende due movimenti simultanei, uno di trasporto ed uno di rotazione, e che le rotazioni hanno luogo intorno al centro di massa. Perciò gli squilibrii longitudinali sono rotazioni intorno ad un asse trasversale, *passante per il centro di gravità.* I movimenti che un areoplano fa intorno all'asse trasversale potrebbero assimilarsi ai beccheggi d'una nave; ma l'areoplano non ha i moti pendolari d'una nave, ed inoltre ogni beccheggio è anche accompagnato da una deviazione dalla trajettoria percorsa, perciò la similitudine non calza, e per denotare i moti di rotazione che l'areoplano può eseguire intorno al suo asse trasversale adopreremo altri termini.

***

I francesi dicono che un areoplano *se cabre*, s'**impenna**, quando gira alzando il becco ed abbassando la coda; noi pos-

Digitized by Google

siamo adottare codesto termine. Gli stessi, quando invece un areoplano abbassa il capo ed alza la coda, dicono qu'il *pique du nez*, noi diremo che *va di punta*. Se l'andar di punta è accompagnato da una rapida discesa, i francesi dicono *qu'il plonge*, che si *tuffa*. Mentre l'*impennata*, accompagnata da una rapida ascesa, fa dire qu'il *saute en l'air*, che *balza in aria*.

Noi possiamo impiegare le stesse espressioni per definire i moti di rotazione **ed il loro senso** nello squilibrio longitudinale. È importante ritenere *il senso* del moto di rotazione intorno all'asse trasversale, corrispondente al termine impiegato.

***

L'areoplano è, o dovrebbe essere, un apparecchio simmetrico rispetto a un piano longitudinale, come del resto lo devono essere tutti i corpi naviganti in un fluido. Infatti: la condizione dell'equilibrio assoluto, esige che il sistema delle forze si riduca a zero e che perciò una qualsiasi di esse risulti eguale ed esattamente opposta alla risultante di tutte le altre. Ma questo non può succedere se la risultante di tutte le altre non è nel piano medesimo della forza unica qualsiasi prescelta. D'onde si conclude che l'equilibrio assoluto non è possibile, se le forze non dànno risultanti tutte in un sol piano. Siccome la forza di gravità c'è sempre nei sistemi materiali, la prima condizione d'equilibrio assoluto è: che tutte le forze del sistema diano risultanti contenute nel *piano verticale passante per il centro di gravità*. Ora questa condizione, abbenchè non implichi necessariamente la simmetria di forma, è però più facilmente realizzata facendo l'apparecchio simmetrico rispetto al detto piano verticale; e sarebbe procedimento barocco fare l'apparecchio dissimmetrico e poi ricorrere a degli artifici per rimediare agli effetti della dissimmetria.

Digitized by Google

§ 19. Condizioni d'equilibrio.

Dunque le tre forze risultanti — peso — propulsiva — reazione del fluido — quando esiste equilibrio assoluto — sono in un sol piano, che è il piano di simmetria dell'apparecchio, non solo, ma devono inoltre **concorrere in un sol punto** o diversamente non sarebbe possibile contrapporre una di esse alla risultante delle altre due.

In un areoplano vi è una forza, la propulsiva, che ha posizione e direzione fissa **per costruzione**. Poi vi è un punto, il centro di gravità, pure fisso **per costruzione**. Se noi supponiamo che il piano del disegno rappresenti il piano di simmetria contenente il centro e la direzione della gravità, ed O (fig. 10) sia il detto centro e che una retta xy rappresenti la posizione *qualsiasi* relativa al punto O della propulsiva, e supposto che l'apparecchio sia stato disposto in modo che la xy risulti orizzontale (perpendicolare alla gravità), e noi facciamo passare per O la verticale segnante la gravità, questa intersecherà la propulsiva in O′ e l'equilibrio assoluto non potrà sussistere se — per prima condizione — la spinta totale dell'aria sull'apparecchio non passa per O′.

Ma questa dell'equilibrio assoluto, che è condizione *sine qua non* (lo vedremo) del volo orizzontale, non è condizione necessaria dell'equilibrio statico. Infatti, per questo basta che non avvengano spostamenti dalla posizione d'equilibrio, sia pur il volo qualsivoglia; e nel caso dell'equilibrio statico longitudinale, che ora solo contempliamo, basta, perchè esso sia realizzato, che non avvengano rotazioni intorno all'asse trasversale che sul piano del disegno si projetta in O.

Digitized by Google

Perchè questo succeda non è *necessario* che le forze si facciano equilibrio, ma è *sufficiente* che si facciano equilibrio *i loro momenti rispetto al centro di gravità* O.

§ 20. Momenti negativi e positivi.

Ognuno ricorda che si dice *momento* di una forza — rispetto a un punto — il prodotto della forza, per la sua distanza dal punto medesimo. Se noi supponiamo che l'asse trasversale che passa in O, sia un asse materiale che fa da perno al sistema, e che l'areoplano possa girare senza attrito intorno al punto O, noi vediamo che, stando le cose come sono disposte in fig. 10, la forza propulsiva O'P ha un momento O'P $\times$ OO' rispetto al punto O e che la sua azione tenderebbe a far girare l'apparecchio nel senso che abbiamo convenuto di dire, *andar di punta*. L'intensità dell'azione giratoria della forza OP, dipende dalla lunghezza OO' del suo *braccio di leva* ed è perciò proporzionale al prodotto O'P $\times$ OO', cioè: *al momento della* O'P. Ma nel tempo stesso osserviamo che anche la forza O'Z ha un momento rispetto al punto O, il quale momento è: O'Z' $\times n$ O. Senonchè l'azione della O'Z tende invece a far girare l'apparecchio nell'altro senso, in quello che *impenna*. I due momenti considerati sono dunque di senso opposto e si distingueranno l'uno col segno + l'altro col segno —. Noi chiameremo *positivi* i momenti che *impennano* e *negativi* quelli che *mandano di punta*. Se i due momenti opposti considerati non sono eguali, avverrà che l'apparecchio s'impennerà o andrà di punta, secondochè troveremo prevalere il momento positivo od il negativo, cioè secondochè le somme algebriche dei momenti:

Digitized by Google

$$O'Z \times n\,O - O'P \times OO'$$

momento positivo + momento negativo.

risulta positivo o negativo.

Per l'equilibrio statico non dovendo l'apparecchio nè impennarsi nè andar di punta, la detta somma deve risultare zero, cioè deve essere:

$$O'Z \times nO = O'P \times OO'$$

momento positivo = momento negativo.

Quando esiste l'equilibrio fra le 3 forze OP, OG, OZ questa condizione è necessariamente realizzata. Infatti, chiamando φ l'angolo della O'Z con la verticale, i diversi triangoli della figura dànno in tal caso:

$$O'P = O'Z \cdot \operatorname{sen}\varphi \text{ e perciò } O'P \times OO' = O'Z \operatorname{sen}\varphi \times OO'$$

$$nO = OO' \operatorname{sen}\varphi \quad \text{„} \quad O'Z \times nO = O'Z \operatorname{sen}\varphi \times OO'.$$

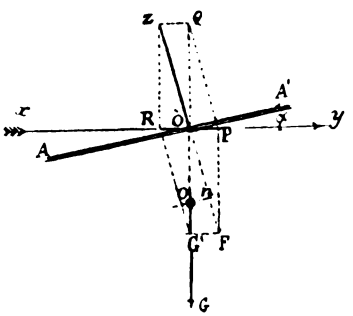


Fig. 10. — Momenti delle forze.

La forza di gravità non ha mai un momento rispetto al suo proprio centro e perciò essa è fuori di considerazione nella produzioue di squilibrio. Adunque perchè l' equilibrio longitudinale sussista *è sufficente* che i momenti di forza propulsiva e spinta alare siano contrari ed eguali.

Digitized by Google

***

Ma allora chi non vede la convenienza di situare il centro O direttamente sulla propulsiva? Noi sopprimiamo così di colpo ogni possibilità di variazione del momento di questa forza (*), non resta più da tener conto che di quelli della spinta alare e questa non sarà più soggetta che a una sola condizione, quella di passare per il punto O, e potrà avere direzione e valore qualsiasi, senza che avvengano perturbazioni di equilibrio, mentre invece se il punto O non è sulla propulsiva, quand'anche nella O'Z cambiasse soltanto il valore o la direzione, e non il punto d'applicazione, ne cambierebbe pur tuttavia il momento O'Z $\times$ O*n*, nel primo caso perchè varia O'Z, nel secondo perchè varia O*n*. Dunque condizione di convenienza è che il centro di gravità sia sulla risultante della forza di propulsione.

***

Tutti avranno sentito ripetere che la stabilità degli areoplani s'accresce, mettendo il centro di gravità in basso. È un'idea naturalissima, ma che cede subito alla riflessione. Molti non solo prescrivono " il centro di gravità in basso „ ma dimostrano e spiegano come agisce " *en rendant impossible toute variation d'incidence* „. È un errore, che non è però privo di buona compagnia. Anzi tutto un mobile libero nello spazio e soggetto a forze varie non ha il suo centro di gravità nè in basso nè in alto: e quando anche noi lo consideriamo più

(*) Cioè della propulsiva. Cioè sarà indifferente per l'equilibrio statico che il motore funzioni o no — mentre ciò non avviene, se il centro di gravità è fuori della propulsiva.

Digitized by Google

basso di altre parti del mobile, resta sempre il punto intorno al quale si equilibrano le forze in giuoco ed intorno al quale il mobile ruota, se i momenti delle forze non s' equilibrano. Il mettere il centro di gravità in basso od in alto, equivale semplicemente ad alzare od abbassare l'asse trasversale di oscillazione dell'apparecchio, nulla più.

In quanto alla dimostrazione della efficacia di averlo in basso è ottenuta con questo metodo, *commendevole per la sua semplicità.* La spinta alare viene divisa nelle sue componenti, verticale ed orizzontale; si tiene conto solo della verticale, e si trascura l'imbarazzante orizzontale e naturalmente l'affare è fatto. Ma se si tiene conto di tutte e due le componenti, si scopre che la posizione del centro di gravità non influisce nè prò nè contro l'equilibrio statico, fintantochè si attribuisce ad OZ valore e direzione fissa, mentre se si fa cambiare valore e direzione alla OZ, l'equilibrio è distrutto sia il centro di gravità in basso od in alto, mentre sussiste ancora, se il punto di concorso delle 3 forze è il centro di gravità stesso e non può essere distrutto che dal *cambiar di posizione* della spinta alare. Per cui è conveniente, ma non indispensabile, che il centro di gravità si trovi sulla linea di propulsione. Infatti, è solo allora che le variazioni di forza propulsiva e di velocità dell'apparecchio non producono alcuna alterazione nell'equilibrio statico.

Noi non considereremo **mai** il centro di gravità altrimenti collocato. Ma non basta:

La OZ è non solo la risultante di tutte le spinte alari ma anche di tutte le resistenze al moto delle diverse strutture, attrezzamento, ecc.

Se queste resistenze non dànno una risultante finale passante per il centro di gravità, esse avranno un momento rispetto a questo punto, momento variabile con la velocità e perciò anch'esso fonte di perturbazione. Dunque, quando per ragioni di costruzione il centro di gravità non possa essere

Digitized by Google

collocato esattamente sulla propulsiva, le resistenze accessorie siano almeno *centrate* col centro di gravità, e non con la propulsiva..... come taluni prescrivono!

Ma molto meglio poi è che entrambi si trovino sull'asse del propulsore e così ammetteremo **sempre** essere per l'avvenire.

***

Se l'aria è assolutamente immobile, non vi ha ragione che l'incidenza cambi quando il costruttore siasi dato la pena di centrare peso e resistenze accessorie con la spinta motrice. Ciò che poi non sempre avviene.

Ma l'aria non è quasi mai ferma: anche quando non si avverte il vento, bastano le correnti ascendenti o discendenti che si producono per le circostanze del terreno, per determinare una variazione d'incidenza. E ricorderò, per dare un esempio dell'influenza insospettata dai più, dei moti d'aria, che, in un campo d'aviazione che ho frequentato per un certo tempo, si aveva lo spettacolo, tutte le sere, di areoplani — a dir vero di forza motrice limitata allo stretto necessario — che non potevano passare per un certo punto in volo. Ogni volta che arrivavano a quel tal posto scendevano tutti, in onta agli sforzi degli aviatori per tenersi su. E non era possibile rilevare un moto dell'aria! Quando poi vi è un po' di vento le variazioni dell'incidenza sono continue. Il vento non soffia mai con direzione ed intensità costante ma ad " ondate d'aria „.

Quando l'incidenza varia, lo sappiamo per lo studio fatto sulle ali, la spinta alare varia non solo di valore, ma anche di posizione.

Il cambiamento di valore non ha influenza nociva, se il centro di gravità è sulla propulsiva, perchè la spinta alare è

Digitized by Google

allora privata del braccio di leva, ma lo ha il cambiamento di posizione, e si manifestano tosto dei momenti positivi o negativi che fanno impennare o andar di punta, alle volte molto vivamente, l'apparecchio. Perchè questo fatto non abbia conseguenze moleste è necessario che l'apparecchio reagisca di fatto proprio e tenda a mantenersi a un'incidenza costante, se si vuole che le spinte alari conservino la posizione rispondente all'equilibrio.

Ma anche indipendentemente dalle agitazioni dell'aria, è pur sempre necessario che l'apparecchio abbia il mezzo di mantenere l'equilibrio ed opponga delle energiche reazioni al cambiamento del proprio assetto, od altrimenti le cause le più insignificanti ed imprevedibili lo rovescierebbero senza l'intervento immediato del pilota. E tutti i provvedimenti dei quali abbiamo parlato fin qui non servono nessuno a questo intento, sibbene soltanto a sopprimere delle cause di squilibrio, non a correggere quelle che si producono.

§ 21. **Vento relativo nel piano verticale.**

Cominciamo col procurarci un'idea delle variazioni che può subire l'angolo d'incidenza in causa del vento.

Un vento impetuoso sarà sempre causa di sosta nel volo, lo è anche per il maggior numero di uccelli e perciò stabiliremo, che la massima velocità del vento che può essere affrontata senza grandi inconvenienti da un areoplano, ha circa $^1/_3$ della velocità dell'areoplano medesimo. Un apparecchio che non possa andare a più di 70 chilometri all'ora non potrà resistere ad un vento oltre i 23 chilometri. È un vento già molto sensibile e prende già la denominazione di *vento vivo*. Gli areoplani a grandi velocità, oltre i 100 chilometri, potranno affrontare un vento anche di 35 chilometri;

Digitized by Google

è già un vento forte e sono rare nei nostri paesi le giornate di maggior vento. Questo vento raramente sarà orizzontale ma alternativamente ascendente e discendente, secondo il periodo dell'onda aerea che l'apparecchio traversa. Mancano dati per stabilire la pendenza massima del vento; ma questo importa poco, perchè se non è il vento che è obliquo all' orizzonte può esserlo il volo, e molto di frequente, per cui risulta sempre che il vento può fare un angolo *rilevante* con la direzione del moto, nel piano di simmetria.

Tanto per fissare un valore medio, supponiamo che l'angolo sia di 15°. Il vento può essere di fronte, cioè contrario al moto ed a tergo, cioè in favore del moto, ed in entrambi i casi può essere ascendente e discendente. Son dunque quattro casi distinti.

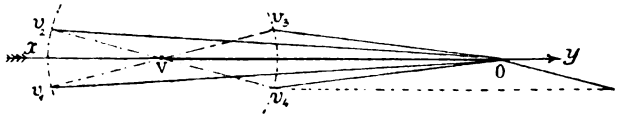


Fig. 11. — Venti relativi nel piano verticale.

Ciò stabilito, sia $x\,y$ (fig. 11) la direzione del moto dell'areoplano da x verso y ed OV rappresenti la velocità dell'apparecchio, la quale portiamo in senso contrario al moto per rappresentare il *vento dell'areoplano*, supposta ferma l'aria. Siano invece Vv_1 Vv_2 le velocità del vento reale contrario (Vv_1 discendente, Vv_2 ascendente), mentre Vv_3 Vv_4 sono venti in favore.

Componendo i moti, abbiamo per il vento contrario le risultanti Ov_1 Ov_2 e per il vento in favore le Ov_4 Ov_3.

Le risultanti rappresentano i venti relativi, cioè " *il moto dell'aria ambiente rispetto all'apparecchio* „.

Quelle che più si staccano dalla direzione del moto, sono

Digitized by Google

le risultanti del vento in favore e l'angolo che Ov_3 Ov_4 fanno con la direzione primitiva risulta essere press' a poco 7°,30 quando la velocità del vento è circa $\frac{1}{3}$ di quello dell'areoplano, come rappresentato nella figura.

L'angolo ordinario di volo varia dai 5° ai 7°, dunque per una raffica, secondo che è in favore o contraria, l'angolo di incidenza può diventare più che doppio o nullo ed anche negativo, secondo che questo vento è ascendente o discendente. Si vede che non si tratta di " piccole perturbazioni „. Vi ha però una attenuante.

Il vento non arriva di colpo: vi hanno periodi di aumento, di decrescenza e di sosta; e ogni volta che il vento riprende impiega dai 3 ai 4 secondi a raggiungere la sua intensità massima. Tuttavia un vento a raffiche non tralascia di produrre della variazioni considerevoli dell'incidenza. Queste variazioni sono minori se il vento è di fronte.

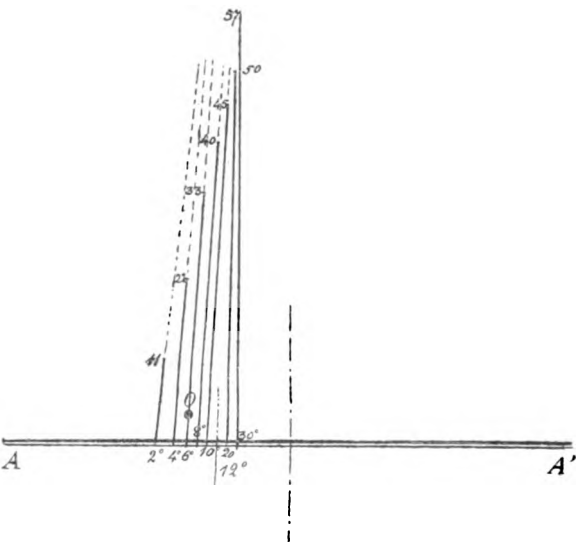
I salti di posizione e di intensità o di direzione delle spinte alari sono formidabili e non sempre i pilota di molti degli apparecchi conosciuti riescono a tempo nella parata, e di leggeri ognuno vorrà convenire che la meglio è che l'equilibrio longitudinale, invece di essere affidato esclusivamente alla prontezza di percezione dell'aviatore, lo sia alle forme convenienti dell'apparecchio.

Digitized by Google

CAPITOLO VIII.

Forme stabili.

Se negli areoplani si potessero impiegare delle ali piane per la sospensione, gli apparecchi sarebbero quasi tutti stabili, longitudinalmente.



Ala piana. Spinte alari.

Invero, nelle ali piane l'andamento del fenomeno pel quale la spinta alare cambia posizione ad ogni variare dell'incidenza è in senso tale da *opporsi* alla variazione stessa; l'ala piana è stabile.

Digitized by Google

Infatti: riprendiamo la fig. 5 ove è segnata un'ala piana e la posizione delle spinte alari alle diverse incidenze e supponiamo che il centro di gravità si trovi, per esempio, sulla spinta alare di 6°, e che l'ala sia in volo precisamente con questa incidenza. Poi supponiamo che per effetto di vento venga a cambiare l'incidenza e questa diventi di 12°, per esempio. All'istante stesso la spinta alare diventa la 12ª. Ma questa spinta ha un momento negativo rispetto al centro di gravità. Dunque qualunque sia la trajettoria che nel frattempo percorre il centro di gravità, l'areoplano gira intorno ad O nel senso *che va di punta.* Ma allora l'incidenza che era saltata a 12°, torna verso i 6° e finchè non sarà nuovamente 6°, la spinta alare trovandosi sempre avere un momento negativo, l'apparecchio seguiterà sempre a girare di punta, finchè non abbia ripreso l'assetto primitivo, rispetto al vento relativo. Viceversa: se l'incidenza fosse saltata a due gradi, la spinta alare si sarebbe avvicinata al battente, ed avrebbe dato un momento positivo od " impennante „, ciò che avrebbe avuto il risultato di aumentare l'incidenza e farla ritornare a 6°.

Dunque le ali piane sono stabili di equilibrio longitudinale. Resterebbe da esaminare il grado di stabilità; ma siccome d'altra parte le ali piane hanno degli svantaggi che fanno rinunciare al loro impiego come ali di sostegno, ciò è inutile.

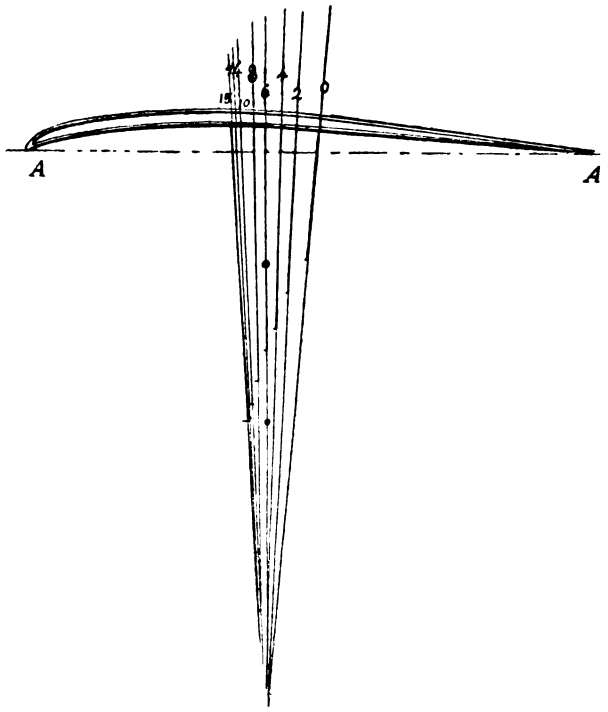
E passiamo alle ali curve.

***

In queste l'andamento del fenomeno è esattamente inverso a quello delle ali piane e quando l'incidenza varia, la spinta alare si porta in posizione da farla addirittura precipitare nel senso stesso nel quale la variazione ha già luogo. Le ali curve sono instabili.

Digitized by Google

Infatti: richiamiamo la fig. 7 del § 16, ove è rappresentata un' ala curva con le sue spinte alari, e poniamo il centro di gravità sulla spinta di 6° gradi, per esempio. Poi ammettiamo che per vento l'incidenza diventi 12°. La spinta alare si porta verso il battente ed assume di colpo un valore molto più



Ala curva. Spinte alari.

forte di prima. Ma allora la spinta alare ha un momento positivo e l'apparecchio s' impenna e l' angolo diventa ancora più grande di 12° e la spinta alare seguita ad avvicinarsi al battente ed aumentare ancora..... fino al rovesciamento? No. Oltrepassati i 16° gradi, la spinta alare torna verso il centro di figura e si ritrova nella posizione di prima per i 20°. Ma

Digitized by Google

vi è anche un'aggravante, la perdità di velocità dovuta alla enorme resistenza alare per la cresciuta incidenza. La perdita di velocità è una delle cause più gravi di disturbo nell'equilibrio. Ma qui entriamo nel campo dell'equilibrio dinamico, e ne tratteremo più tardi. In ogni caso possiamo dire che *l'impennata* non è immediatamente pericolosa. Viceversa, supponiamo che l'incidenza sia saltata a zero gradi. La spinta alare si porta al centro di figura, i momenti diventano negativi e fanno andare di punta l'apparecchio. Ma l'angolo è già zero, esso diventa negativo e l'apparecchio va a capofitto verso il suolo..... questa volta senza attenuanti.

Sarebbe stato impossibile volare con delle ali curve, se le necessità della pratica non avessero imposto ai costruttori di aggiungere alle ali sostentatrici, altre ali di minori dimensioni e ad una certa distanza dalle prime, allo scopo di riuscire — come ora vedremo — nella " centratura dell'apparecchio „. Ha bastato il fatto di aver messo il peso fra due sistemi alari distinti, se non per stabilizzare gli apparecchi, almeno per dar loro una condizione di squilibrio tollerabile, per la quale i momenti positivi e negativi del doppio sistema alare non fossero più così temibili come lo sarebbero stati quelli d'un sistema alare unico e, il pilota aiutando, gli areoplani abbiano potuto volare (*).

***

Come si riesce nella pratica " a centrare „ un apparecchio non ancora sperimentato e del quale non si conosce ancora esattamente la capacità al volo?

(*) Al Lilienthal è andata assai male la prima volta che si è " alzato „. Prima aveva sempre fatto " discese „.

Digitized by Google

Wright mette davanti alle ali principali AA′ (fig. 12), destinate a reggere la magior parte del peso, un altro sistema alare molto più piccolo ed a considerevole distanza dal primo (3^m, 50). Questo sistema alare secondario è mobile ed il pilota con un giuoco di leva e di tiranti, può variarne a volontà l'incidenza. Il peso, cioè il centro di gravità O si tiene molto avanti dalle spinte alari delle ali principali, che nella fig. 12 sono rappresentate in *mZ*, e che nella pratica corrente si stimano essere a una distanza dal battente di circa $^1/_3$ della larghezza dell'ala (Ferber) e si mette in moto l'apparecchio dando l'incidenza zero, od anche negativa, ai piani anteriori.

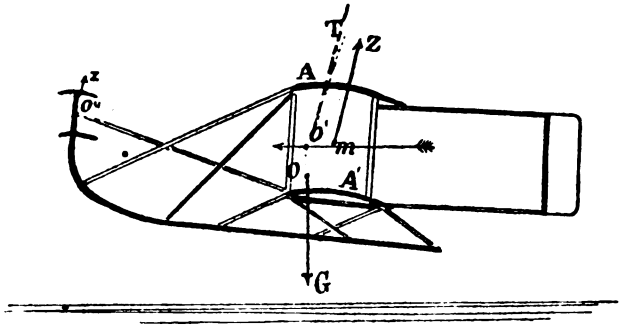


Fig. 12. — Areoplano Wright (schema).

È impossibile che l'apparecchio si sollevi in volo per velocità che prenda. Le spinte alari in azione essendo dietro al peso, hanno momento negativo e fanno andar di punta, e perciò diminuiscono l'incidenza delle ali e le fanno portare di meno in meno a misura che la velocità cresce. Ma allora il pilota aumenta grado grado l'incidenza dei piani davanti, e introduce in giuoco la loro spinta alare, che tenderebbe invece ad *impennare* l'apparecchio e cioè a far aumentare l'incidenza. Man mano che questo avviene, il momento positivo dei piani

Digitized by Google

anteriori tende ad eguagliare il momento negativo delle ali principali e perciò la risultante O'T delle due spinte alari mZ, $o''Z$ tende a passare per il punto o', punto d'incontro della verticale del centro di gravità, — con la propulsiva. — Ora arriverà delle due cose l'una: o per una certa incidenza dei piani anteriori l'apparecchio è sollevato in volo, ed allora l'aviatore nota per quale posizione della leva ciò avviene, e stima l'opportunità, o meno, di mettere il peso più avanti o più indietro perchè la leva si trovi in una posizione media e ci sia margine per manovrare nei due sensi; o l'aviatore arriva al termine della corsa della sua leva (e i piani al massimo dell'incidenza) senza che l'apparecchio si distacchi, e allora l'aviatore capisce che il peso è troppo avanti. Sempre ammesso che la velocità sia a discrezione. E così si corregge la posizione del peso, fino ad ottenere il risultato buono. Cioè che l'apparecchio si sollevi centrato in volo per una incidenza media dei piani anteriori.

Da quel punto in poi il volo avviene in questo modo. Se l'apparecchio tende ad abbassare la testa, l'aviatore tira la leva e fa incidere di più i piani anteriori, e inversamente se l'apparecchio accenna a impennarsi.

Se avesse a mancare il collegamento fra la mano dell'aviatore e i piani anteriori, il peso che si trova molto davanti alla forza portante delle ali principali, farebbe precipitare il tutto a capofitto. Ma questo piccolo inconveniente, che non è mancato di succedere, non sarebbe che eccezionale; l'inconveniente principale è che a tutte le cause di squilibrio, deve provvedere l'aviatore, aumentando o diminuendo continuamente l'incidenza dei piani anteriori; la testa dell'apparecchio, insomma, è il pilota che la sostiene manovrando i piani anteriori. E questo è l'areoplano!

Analogamente si procede per gli altri apparecchi. Per es., per i Blériot, con la differenza che le ali secondarie, in questo caso, sono dietro e che di queste, solo una parte è mobile.

Digitized by Google

Anche qui il peso sta fra ali principali ed ali secondarie e cioè, in questo caso, il centro di gravità è dietro alle spinte alari; ed anzi diremo subito che non vi ha che il Wright e suoi derivati (Curtiss) che abbiano il peso davanti alle spinte alari principali. Alle prove di un apparecchio di questo genere e di funzionamento ancora sconosciuto, si tiene il peso più avanti di quanto si stimava necessario nel progetto, ed i piani — questa volta posteriori — si tengono a una forte incidenza, in modo da essere sicuri (ed è la prima cosa che si deve verificare durante la prova) che l'apparecchio alza la coda quando è in velocità; in una parola: che si abbiano a propria disposizione dei forti momenti negativi onde impedire all'apparecchio di staccarsi dal suolo (*). Poi lentamente il pilota diminuisce l'incidenza dei piani posteriori fino a che la spinta alare, risultante dei due sistemi, viene a passare per il centro di gravità e l'apparecchio stacca il volo. Se questo non succede, e non è da incolparne la mancanza di velocità, si provvede spostando o i pesi, o le ali od entrambi fino a riuscire. Nè altrimenti si avrebbe potuto ragionevolmente procedere. Su per giù siamo ancora nel caso del Wright.

I Voisin finalmente e derivati (Farman, Sommer) si differenziano dai descritti perchè hanno, ad un tempo, i piani posteriori e i piani anteriori. I posteriori fissi, a momenti negativi, gli anteriori mobili (momenti positivi). Il centro di gravità sta fra ali principali e coda. Introducendo in azione i piani anteriori, si vengono a *compensare* in parte più o meno grande, secondo l'incidenza che dà loro il pilota, i momenti negativi della coda fino a che la risultante finale delle spinte alari viene a cadere sul punto giusto, cioè sul punto d'inter-

(*) Quando la velocità della corsa di slancio aumenta, l'apparecchio alza di più in più la coda e perciò diminuisce l'incidenza, e la spinta alare non arriva mai ad eguagliare il peso.

Digitized by Google

sezione della verticale passante per il centro di gravità, con la propulsiva.

Nei Voisin e Farman e derivati, i piani anteriori sono piatti e vengono costantemente manovrati a colpi frequenti e successivi, più o meno forti, come se fossero pagaje — insomma, gli aviatori si tengono in equilibrio come un eschimese in sandolino.

***

Quando un apparecchio è centrato " per un certo angolo di volo „, sono eguali e contrari, *per quell'angolo* — i momenti delle *ali positive* — quelle che hanno la loro spinta *davanti al centro di gravità* e quelli delle *ali negative* che hanno invece le loro spinte dietro il centro medesimo; ma codesta eguaglianza non sussiste più per gli altri angoli, e quando vuol cambiare angolo di volo, deve il pilota manovrare i piani mobili allo scopo di *centrare* l'apparecchio per un altro angolo.

§ 22. **Equilibratori stabilizzatori.**

I piani mobili prendono il nome di *equilibratori*, mentre le ali secondarie fisse vengono dette *stabilizzatrici.*

Finchè l'aria è calma, questo del dover tenere a mano in equilibrio l'apparecchio, è un inconveniente tollerabile, non così quando l'aria è agitata, e in questo caso ed in molti altri che vedremo trattando dell'equilibrio dinamico, non sempre l'aviatore può percepire in che senso avviene od è avvenuto uno squilibrio, e le catastrofi ad altro non tengono che a questa " mancata percezione „. È indispensabile che il pilota possa cambiare a volontà l'angolo di volo per le diverse occor-

Digitized by Google

renze, ma dopo che l'angolo di volo è stabilito, l'apparecchio deve provvedere da sè a mantenerlo. Ora faremo vedere che se la divisione delle ali di un areoplano in due sistemi distinti riduce di molto il grado di instabilità, non la elimina però e tutt'al più nel Wright può dare una incerta stabilità entro limiti ristretti quando il carico è al massimo. Mi affretto a fare eccezione per un monoplano, l'Antoinette e derivati, il quale ha, per caso, un grado di stabilità che può ritenersi sufficiente. Ne riparleremo.

Digitized by Google

CAPITOLO IX.

Diagramma dei momenti alari.

Sia (figura 13) il profilo AA′ di un'ala curva, che supponiamo avere la lunghezza di m. 1,50, con suvvi rappresentate

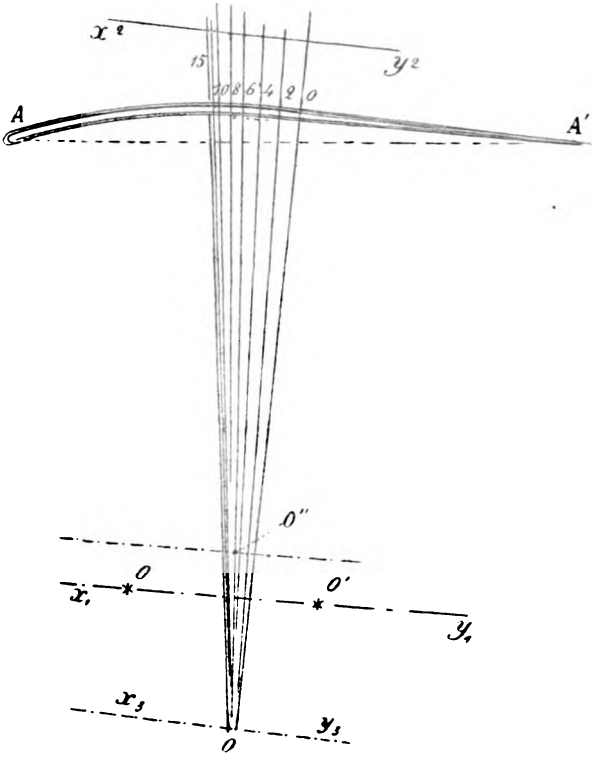


Fig. 13. — Momenti delle spinte alari.

Digitized by Google

in posizione e direzione le spinte alari corrispondenti ad incidenze variabili di 2 in 2 gradi. Conduciamo una retta $x_1 y_1$ la quale rappresenti la posizione e direzione che la propulsiva ha **rispetto all'ala** AA'. Essa farà con la corda del profilo un angolo che supponiamo di 6°. Fissiamo su questa retta un punto O che ammettiamo rappresentare il centro di gravità. Finalmente da questo punto O caliamo le perpendicolari a ciascuna spinta alare e misuriamone la lunghezza con la medesima scala che ci ha servito a rappresentare la lunghezza AA' di m. 1,50.

Facendo il prodotto di ciascuna spinta per la lunghezza della sua perpendicolare calata dal punto O, avremo: *i momenti di ciascuna di esse rispetto alla prescelta posizione del punto* O.

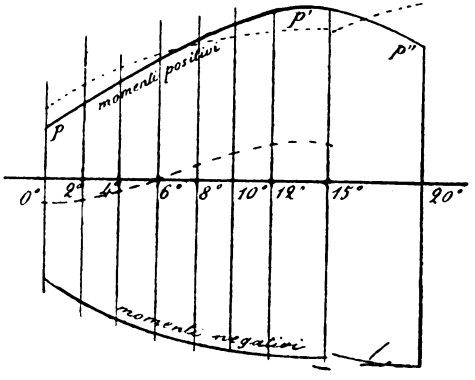


Fig. 14. — Diagramma dei momenti alari.

Ordinando in una tabella questi prodotti, avremo il quadro che segue. Ottenuto il quadro, lo riproduciamo graficamente ed avremo il diagramma (fig. 14) che è: **il diagramma dei momenti alari dell'ala** AA' rispetto al punto O.

Noi supponiamo all'ala una certa velocità ed una certa superficie, per esempio, la velocità media del volo, 15 m. al 1'',

Digitized by Google

ed una lunghezza di battente di m. 7, per cui la superficie dell'ala sarà mq. 10.5. Per avere la sua spinta alle diverse incidenze, moltiplicheremo la *spinta unitaria* (tabella II) per 10.5, poi per $15^2 = 225$, cioè per $10.5 \times 225 = 2362.5$.

La lunghezza dei bracci di leva (le perpendicolari calate del punto O) sono espresse in centimetri, mentre le spinte lo sono in chilogrammi.

Dunque avremo: momenti = chilogrammi × centimetri.

Tabella VI

Incidenza α in gradi	Spinta alare Z in kg.	Punto in O Braccio leva negativo cent.	Momento negativo
0	80.30	34	2730
2	103.95	32	3326
4	125.20	30	3756
6	141.70	29	4109
8	158.30	27	4274
10	172.30	26	4480
12	181.70	25.5	4633
15	185.30	25	4632
20	170 —	29	4930

Tabella VII

Punto in O' Braccio leva positivo cent.	Momento positivo
16	1284
18	1871
20	2504
21	2975
23	3640
24	4135
24.5	4451
25	4632
—	—

Si osserverà che dopo i 16° l'andamento è discontinuo. Questo non importa però, perchè gli angoli di volo non devono andare oltre i 10°. Si è già osservato che dopo i 10° le spinte alari di un'ala curva aumentano molto lentamente e che l'aumento cessa ai 15°-16°, mentre il rapporto fra le componenti diventa enorme e la tabella III, pag. 60, lo dimostra. Per la qual cosa gli angoli superiori ai 10° non sono utili al volo. E se abbiamo esteso i diagrammi fino ai 20° è solo per aver un'idea di ciò che succederebbe nel caso di squilibrii eccezionali.

Digitized by Google

Il diagramma dei momenti alari cambia andamento se noi facciamo scorrere il punto O sulla xy. Per esempio, portandolo in O' avremo il quadro della tabella VII ed il diagramma $p\,p'\,p''$ della figura 14, il quale ha un andamento più rapido del primo, non solo, ma è positivo, cioè di momenti che fanno impennare, mentre il primo è di momenti negativi, cioè di momenti che fanno andar di punta, e lo rileviamo dal fatto che il braccio di leva è misurato in senso opposto nei due casi. I medesimi diagrammi cambiano se si porta la xy in altra posizione, per esempio, facendola passare sopra all'ala in $x_2\,y_2$. E qui ancora troveremo che i diagrammi negativi sono di variazione meno rapida dei positivi. Cioè, che la differenza fra due ordinate successive è sempre maggiore nei diagrammi positivi per due stesse incidenze. Se si potesse esprimere con una funzione algebrica di tollerabile complicazione la legge di variazione, facendone la derivata, avremmo l'espressione del grado di rapidità della variazione nei diversi punti del diagramma; ma la cosa non è facile, — almeno per me — e procederemo altrimenti.

Se finalmente portiamo il punto O a coincidere con una spinta alare, per esempio, la 6° in O''', avremo il diagramma della linea a tratti (fig. 14), il quale è positivo per gli angoli maggiori, negativo per gli angoli minori di 6° e ci dà l'esatta immagine della instabilità del volo, quando il peso è centrato su un'ala sola. Invero vediamo che, per poco che l'incidenza esca dai 6°, se aumenta si manifestano dei forti momenti *impennanti*, e viceversa se l'incidenza diminuisce, **contrariamente a quanto dovrebbe succedere per ristabilire l'equilibrio**.

***

Per farci un'idea del grado di rapidità dei diagrammi dei momenti alari senza dover ricorrere ogni volta alla lunga

Digitized by Google

operazione testè descritta, procediamo così: Contentiamoci di avere la differenza fra i momenti alari estremi, fra zero e 15°, p. es., tenendo presente che dopo i 10° tutti i diagrammi tendono ad essere paralleli alle ascisse. Infatti, dopo i 10°, variano di poco sia le spinte che la posizione che esse occupano rispetto all'ala, e perciò la differenza fra zero e 15° non è molto lontana da quella che è fra zero e 10°.

Allora, facendo prendere alla *xy* diverse posizioni, vediamo quanto segue:

Se la *xy* passa per il punto ove press'a poco concorrono tutte le spinte alari (fig. 13), $x_3 y_3$ ed il centro O è sul punto di concorso di dette spinte, la variazione potrebbe ritenersi praticamente nulla. Cioè a dire l'equilibrio sarebbe indifferente, non vi sarebbero momenti nè contrari nè in favore delle perturbazioni. Questa considerazione sembra dar ragione ai fautori del " centro di gravità in basso „, perchè se l'equilibrio non diventa che indifferente, è però tanto di guadagnato sui provvedimenti ulteriori. Senonchè, insieme con il centro di gravità, bisogna mettere anche la propulsiva passante per il medesimo punto o il vantaggio sarebbe illusorio, e se la cosa non è impossibile in un biplano — per l'ala superiore — lo è per un monoplano, stantechè il punto in discorso si trova considerevolmente in basso rispetto all'ala; una volta e mezzo la sua larghezza. Mettendo l'elice in modo che giri a una ragionevole distanza dal suolo e sollevando l'ala alla distanza richiesta per ottenere quanto sopra, si riesce a una costruzione barocca ed assolutamente inaccettabile per gli innumerevoli inconvenienti a cui dà luogo.

Sollevando man mano la *xy*, portandola, per esempio, in $x_1 y_1$ (è press'a poco la posizione che occupa rispetto all'ala superiore di un biplano), abbiamo che le due spinte alari estreme la intersecano in due punti che distano fra loro di 6 centimetri e che perciò, lasciando andare le briciole, quando il centro O si trova alla distanza D " *davanti* alla spinta di 15 „, esso è

Digitized by Google

alla distanza D + 6 dalla spinta di zero gradi, d'onde per il diagramma negativo della nostra ala si avrebbe la *differenza estrema* fra i momenti alari negativi:

$$185\,D - 79\,(D + 6)\ (*).$$

Analogamente si sarebbe trovato per altre posizioni della xy; per esempio, per la xy in x_2y_2 (che sarebbe press'a poco la posizione che occupa in un biplano rispetto all'ala inferiore) si avrebbe per differenza estrema dei momenti negativi

$$185\,D - 79\,(D + 26)\ (**).$$

Lasciando indeterminata la distanza fra i due punti d'intersezione della xy con le due spinte alari estreme e chiamandola per esempio, H, avremo l'espressione della differenza in discussione per tutte le posizioni della xy. Così per il diagramma negativo:

(*) Uguagliando i due momenti ricaviamo per D:

$$D = \frac{6 \times 79}{185 - 79} = \frac{474}{106} = \text{cent. } 4{,}5.$$

Dunque questa differenza è nulla, cioè i momenti negativi delle diverse spinte restano press'a poco costanti alle diverse *incidenze* ed il diagramma sarà una linea press'a poco parallela alle ascisse se noi mettiamo il centro O a cent. 4,5 della spinta di 15°.

(**) D'onde, se vogliamo che la differenza sia zero:

$$D = \frac{26 \times 79}{185 - 79} = \frac{2054}{106} = 19{,}4 \text{ centimetri.}$$

E si dovrebbe tenere l'ala inferiore più indietro dell'ala superiore, cioè sfalsare avanti l'ala superiore.

Digitized by Google

Differenza estrema negativa

$$= 185\,D - 79\,(D+H) \;\; ; \;\; D(185-79) - 79\,H = D\,106 - 79\,H.$$

Mentre abbiamo per i diagrammi positivi, chiamando ancora D la distanza (questa volta misurata in senso inverso della prima e che perciò dovrebbe avere segno distinto) alla spinta alare 15°,

$$D\,185 - 79\,(D-H) = D\,(185-79) + 79\,H = D\,106 + 79\,H.$$

Queste due differenze sono — per un medesimo valore di D e posizione di *xy* — la somma di due quantità positive per un diagramma positivo — mentre è la differenza delle medesime quantità, per un negativo.

Ne consegue che il diagramma positivo è *sempre* più rapido del negativo.

***

Supponiamo due sistemi alari AA′, SS′ rigidamente congiunti fra loro e perciò animati della stessa velocità e di superficie S l'uno, *s* l'altro (fig. 15).

Se *m* è la spinta per ogni metro quadro, le due spinte delle due superficie S ed *s* saranno rispettivamente: *m*S ed *ms*.

Sia D la distanza conosciuta fra le due spinte alari di 6° di ciascun sistema. Se noi mettiamo il centro di gravità in un punto tale, che divida la distanza D in due parti che stanno fra loro nel rapporto $\frac{s}{S}$, le due spinte alari si faranno equilibrio.

Infatti: sia O il centro di gravità ed *x* la sua distanza dalla spinta alare della superficie S sarà: $D - x$, la sua distanza

Digitized by Google

dalla spinta alare della superficie s, ed i momenti delle due spinte, rispetto al punto O, saranno mSx ed $ms\,(D-x)$ ed il loro rapporto $= \frac{mS}{ms} \times \frac{x}{D-x}$; ma se x e Dx sono in rapporto inverso di $\frac{S}{s}$, codesto rapporto è l'unità, ed i due momenti sono eguali e di segno contrario e perciò si equilibrano.

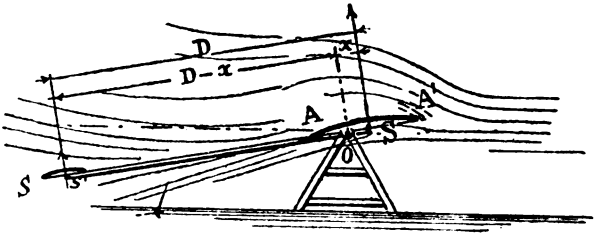


Fig. 15. — Centratura di un areoplano.

Quando questo avviene, la risultante delle due spinte passa per il centro di gravità (*). Noi abbiamo così " centrato un apparecchio in volo „ per l'incidenza di 6°.

Non è necessario ammettere che l'areoplano vola, lo possiamo benissimo supporre fermo contro un vento della stessa velocità del volo, ma di senso opposto, appunto come lo percepisce l'aviatore quando si trova molto alto dal suolo, e possiamo anche supporlo imperniato sull'asse trasversale passante per il centro di gravità, come lo è, idealmente, in aria.

Facciamo ora variare l'incidenza. Non è necessario che

(*) Ricordiamo: *momento della risultante eguale a somma dei momenti delle componenti.* Quando i momenti si equilibrano, la loro somma algebrica è zero, e perciò zero è il momento della risultante e questa deve passare per il punto rispetto al quale si sono misurati i momenti.

Digitized by Google

facciamo girare l'areoplano intorno al suo perno, basta che ammettiamo che il vento cambia direzione come avviene di continuo con ogni vento.

Entrambe le spinte alari delle due S ed *s* cambiano posizione ed *entrambe nello stesso senso*, cioè in favore della perturbazione; dunque anche la loro risultante si sposta in favore della perturbazione e l'equilibrio è *instabile*. Non basta dunque lo spartire la superficie alare totale, in due sistemi alari differenti, per avere stabilità, e la dimostrazione ora data — si noti bene — è indipendente dai risultati sperimentali dell'uno piuttosto che di un altro e riposa unicamente sul fatto che, il cambiamento di posizione delle spinte alari è — nelle ali curve — in senso inverso di quello che occorre per la stabilità.

Questo fatto essendo accertato per l'esperienza quotidiana del volo, oltre che da esperimenti di gabinetto (*), la dimostrazione data ha valore generale, qualunque sia la forma d'ala curva prescelta purchè convessa nella sua parte *dorsale*. La sola differenza starà nella entità del difetto, senza mai arrivare nè all'eliminazione e meno ancora alla conversione del difetto in pregio.

Del resto poi è anche facile dimostrarlo coi numeri senza dare alcun valore particolare ad essi.

Perciò prendiamo i diagrammi dei momenti alari di ciascun sistema per rispetto al centro di gravità comune.

Le ali S dànno un diagramma positivo; indicando con $m_{15°}$ ed $m_{0°}$ le spinte unitarie a 15° ed a zero gradi e con U la distanza fra le due spinte alari corrispondenti, avremo:

Differenza fra i momenti alari estremi positivi

$$= x\,S\,(m_{15°} - m_{0°}) + U\,m_0\,S\,.$$

(*) Io dichiaro che dò maggiore importanza a questi ultimi.

Digitized by Google

Mentre il sistema s darà un diagramma negativo e siccome, supposta la similitudine dei due sistemi alari, la distanza fra le sue spinte estreme sarà $U\frac{s}{S}$, avremo:

Differenza fra momenti alari estremi negativi

$$= (D - x)\, s\, (m_{15°} - m_0) - U m_0 \frac{s}{S} s.$$

Ma se

$$\frac{x}{D-x} = \frac{s}{S}, \quad \text{sarà:} \quad Sx = s(D - x)$$

e perciò: differenza positivi — differenza negativi

$$= U m_0 \left(S + \frac{s^2}{S}\right) = U m_0 \left(\frac{S^2 + s^2}{S}\right).$$

La quale ci dice che qualunque siano le proporzioni e la distanza dei due sistemi, questa differenza è sempre positiva, cioè è **sempre più rapido il diagramma delle ali positive di quello delle negative.**

E questa è la cagione della persistente instabilità, perchè se noi potessimo ottenere il contrario, cioè che fosse più rapido il diagramma negativo, il sistema diventerebbe stabile.

***

Infatti: riferiamoci alla fig. 14, ove sono rappresentati un diagramma positivo, quello della linea piena, ed uno negativo, quello della punteggiata, *sovrapposti.*

La sovrapposizione dei due diagrammi, dà luogo al confronto fra la grandezza dei momenti positivi e quella dei negativi, a ciascun'incidenza. Se le due curve s'incrociano,

Digitized by Google

cioè hanno un punto comune, l'angolo che corrisponde a questo incrocio segna " *l'angolo per il quale l'apparecchio è centrato* „ perchè vi si trovano eguali il momento positivo ed il negativo. Ma se il diagramma negativo è meno rapido del positivo, avverrà che la linea punteggiata passerà sopra alla linea piena, dalla parte degli angoli minori dell'angolo di volo, e sotto dalla parte degli angoli maggiori. In conseguenza: la differenza fra i momenti positivi e negativi dei due diagrammi, sarà negativa partendo dall'angolo di volo ed andando verso zero, positiva andando invece verso 15°. E perciò se il vento relativo cambia direzione e l'incidenza diminuisce, l'apparecchio sarà mandato di punta, quando dovrebbe impennare, e viceversa impennerà quando dovrebbe andar di punta.

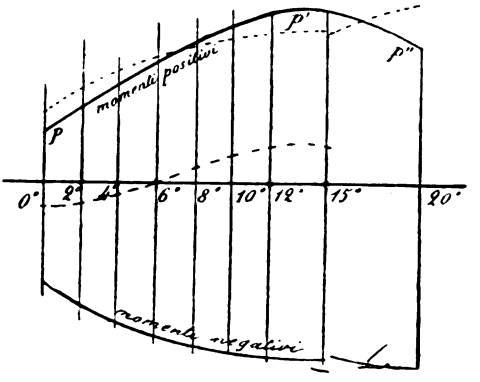


Diagramma dei momenti alari.

Le azioni che si sviluppano quando l'incidenza cambia accidentalmente, tendono a far **rovesciare** l'apparecchio, non a mantenerlo nella sua posizione d'equilibrio. Mentre invece, se supponiamo che la linea punteggiata rappresenti il diagramma positivo, avremmo che le azioni che si sviluppano per un cambiamento d'incidenza tendono a ripristinare l'incidenza corrispondente al punto d'incrocio.

Digitized by Google

Noi possiamo corroborare la dimostrazione con un esempio numerico, avvertendo ancora una volta, che l'uso che noi facciamo dei risultati sperimentali che si vorranno dire di gabinetto, non implica che l'entità del difetto e non la sua esistenza o meno.

Prendiamo, ad esempio, un monoplano del tipo dal più al meno di un Blériot. Larghezza delle ali principali m. 2, lunghezza di battente m. 7, superficie mq. 14. Stabilizzatore m. $1{,}78 \times 0{,}80 =$ mq. 1,40. Distanza fra i centri di figura m. 5,5° (fig. schematica 15). Il centro di gravità spartisce la distanza fra le due spinte alari di 6° in due parti: cent. 51 e cent. 511.

Eseguendo sulle ali principali e sulle secondarie l'operazione descritta al Cap. IX, ne risulta il quadro seguente:

Tabella VIII

Incidenza α	ALI PRINCIPALI			STABILIZZATORE			Differenze o momenti risultanti
	Braccio leva cm.	Spinta alare Z Kg.	Momenti positivi	Braccio leva cm.	Spinta alare Z Kg.	Momenti negativi	
0°	32	107	+ 3426	518	10.7	— 5542	— 2116
2°	39	135.6	+ 5265	515	13.5	— 6952	— 1687
4°	46	167	+ 7682	513	16.7	— 8567	— 885
6°	51	189	+ 9639	511	18.9	— 9657	circa zero
8°	55	211	+ 11605	509	21.10	— 10739	+ 866
10°	59	230	+ 13570	508	23	— 11684	+ 1886
12°	61	240	+ 14640	507	24	— 12168	+ 2472
15°	62	245	+ 15190	507	24.5	— 12431	+ 2759

Senza star a fare il diagramma, noi vediamo dalle cifre stesse del quadro, cioè dall'ultima colonna, che dà i momenti

Digitized by Google

risultanti finali, qualmente i momenti alari si equilibrano a 6°, perchè così abbiamo centrato l'apparecchio, ma poi diventano preponderanti i negativi per angoli minori, ed i positivi per angoli maggiori di 6°, per cui non sono momenti stabilizzatori ma **rovescianti**!

***

Un miglioramento è stato suggerito ed è passato, se non nell'uso, per lo meno fra le regole empiriche predicate nell'arte, quella cioè di fare che *la coda non porti*, cioè di darle poca incidenza. È chiaro che ciò deve influire. Infatti:

Se da una parte noi poniamo mente all'andatura dei diagrammi dei momenti vedremo che: mentre avvicinandosi a 15° essi tendono a diventare meno rapidi, al contrario la loro rapidità aumenta avvicinandosi a zero. E se dall'altra parte osserviamo che l'inconveniente lamentato proviene appunto dal fatto che il diagramma negativo è più rapido del positivo, mentre noi abbiamo bisogno che succeda il contrario, viene appunto l'idea di invertire il senso della rapidità prendendo *la parte* più rapida del diagramma negativo e contrapporla alla parte meno rapida del positivo. Ciò equivale a dare *incidenze differenti* ad ali e coda, facendo che quest'ultima ne abbia meno delle prime.

***

Dunque proviamo a centrare l'apparecchio con ali incidenti di 6°, quando la coda ha incidenza..... addiritura zero.

Il momento negativo della coda a zero è 5542 (Vedi tabella VIII) e la spinta alare positiva a 6° è Kgr. 189; dunque dovremo portare il centro di gravità a $\frac{5542}{189} = 29$ cent. circa dalla spinta di 6°; e si avrà il quadro seguente:

Digitized by Google

Tabella IX

Incidenza α	ALI PRINCIPALI			STABILIZZATORE		Differenze o momenti risultanti
	Braccio leva cm.	Spinta alare Tab. VII Kg.	Momenti positivi	Incidenza α	Momenti dedotti da Tab. VII	
0°	10	107	+ 1070	— 6	?	?
2°	17	135	+ 2295	— 4	zero	+ 2295
4°	24	167	+ 4008	— 2	— 3377	+ 631
6°	29	189	+ 5481	zero	— 5542	zero circa
8°	33	211	+ 6963	+ 2	— 6952	»
10°	37	230	+ 8510	+ 4	— 8567	»
12°	39	240	+ 9360	+ 6	— 9657	— 297
15°	40	245	+ 9800	+ 9	—11000	— 1500

Vediamo, dall'ultima colonna, che finalmente i momenti risultanti non sono più rovescianti ed, almeno agli estremi, abbiamo dei momenti positivi per gli angoli prossimi a zero e negativi per quelli prossimi a 15°. E per quanto le azioni correttrici siano deboli, si realizza però già una condizione di volo non più tanto difficile.

Questa è — per *mero caso* — all'ingrosso, la condizione di volo di gran parte degli areoplani più conosciuti e quantunque, in codesti apparecchi, le ali di coda *non abbiano* incidenza zero (*) ma invece una incidenza press'a poco eguale a quella delle ali principali, e delle volte più, succede pur tuttavia che: *causa la scia discendente delle ali che precedono*, la coda, o una parte di essa, ha effettivamente un'incidenza minore delle ali principali ed il *volo diventa possibile.*

(*) Nessun costruttore ha creduto dover dar importanza a qualsiasi precetto.

Digitized by Google

§ 23. Scia delle ali.

Una nave in moto — ognuno sa — lascia dietro di sè un lungo solco visibile che si dice la sua *scia*, la quale segna il luogo ove si va nuovamente a raccogliere il fluido spartito dal passaggio della nave. Anche gli areoplani hanno la loro *scia*, solo che questa non è visibile; ma se non la si vede la si sente benissimo; e che si senta, sopratutto lo sanno gli aviatori che prendono parte ai concorsi, ove parecchi areoplani a un tempo sono in aria.

E questi aviatori sanno, che la scia degli areoplani è un vento discendente del quale hanno un vero spavento, perchè anche alla distanza di 50 metri li butta irremissibilmente a terra. Nel gergo del mestiere questo si dice essere *soufflé*.

A noi la conoscenza della scia di un'ala è necessaria perchè gli areoplani essendo composti di diverse ali, quali sovrapposte, quali una dietro l'altra, dobbiamo saper mettere le ali in posizioni relative tali, che le une non disturbino l'efficacia delle altre. E perciò valendomi, in mancanza di meglio, di esperienze mie proprie, dirò:

La scia ventrale ha la direzione degli ultimi elementi dell'ala e uno spessore non maggiore di $^1/_8$ della larghezza dell'ala. La scia dorsale, invece, è enorme, parte dal battente (figg. 3 e 15) e va a un punto che si può fissare sulla normale al piano alare elevata dal ciglio, e a una distanza dall'ala di circa $^8/_{10}$ della larghezza. Di più: ad una distanza di più di 3 volte la larghezza dell'ala, tutta una zona d'aria di uno spessore almeno doppio della larghezza dell'ala, al disopra della scia ventrale, è turbata da movimenti discendenti. Per cui se due ali devono essere sovrapposte come in fig. 12, l'ala superiore deve trovarsi almeno a $^8/_{10}$ della lar-

Digitized by Google

ghezza distante dall'ala inferiore e preferibilmente sfalsata avanti, cioè non perpendicolarmente sull' ala inferiore, ma sporgente nella direzione del moto, per lasciar passare liberamente la scia dorsale dell'ala inferiore. Se due ali devono essere messe una dietro l'altra, bisogna tracciare la scia ventrale dell'ala che precede, e mettere l'ala che segue al disotto di questa scia od altrimenti interporre una distanza di almeno quattro volte la larghezza dell'ala che precede.

***

Se noi togliamo l'ala curva alla coda e la sostituiamo con un'ala piana e le diamo incidenza zero, il tipo Blériot si trasformerà in un tipo Antoinette, o suo derivato, per esempio Hanriot, e la stabilità sarà finalmente raggiunta.

Infatti, avremo i momenti alari del quadro seguente:

Tabella X

Incidenza per velocità 15 m.	Portata kg.	Leva	Momenti	Incidenza impennaggio	Portata kg.	Leva	Momenti	Differenze o momenti stabilizzatori
0	107	— 19	— 2033	— 6	— 10.38	— 518	+ 5376	+ 3343
2	135	— 12	— 1620	— 4	— 6.92	— 519	+ 3591	+ 1971
4	167	— 5	— 835	— 2	— 3.46	— 520	+ 1799	+ 964
6	189	zero	zero	zero	zero	—	zero	zero
8	211	+ 4	+ 844	+ 2	+ 3.46	— 520	— 1799	— 955
10	230	+ 8	+ 1840	+ 4	+ 6.92	— 519	— 3591	— 1751
12	240	+ 10	+ 2400	+ 6	+ 10.38	— 518	— 5376	— 2976
15	245	+ 11	+ 2695	+ 9	+ 14.17	— 517	— 7325	— 4630

Dal quale finalmente vediamo apparire nettamente quelle azioni antagoniste correttrici di cui abbiamo parlato fin da

Digitized by Google

principio. Le quali poi, in ultima analisi, si ottengono con la *inversione* dell'andamento del fenomeno che produce lo spostamento del centro di pressione nelle ali curve. Non abbiamo difatti che da confrontare la 4ª colonna con l'ultima per vederle.

Però vi ha un inconveniente. Le ali piane orizzontali *fisse* che prendono il nome di " impennaggi orizzontali „ non funzionano nel modo descritto se non son messe alla coda dell'apparecchio e la ragione, già ovvia per sè, sta in questo:

Esse dànno spinte alari ora positive ora negative secondo che sono colpite sulla faccia ventrale o dorsale; se sono alla coda, quando sono colpite sulla faccia ventrale, la spinta positiva moltiplicata per un braccio di leva *negativo* dà un momento *negativo*. Quando sono colpite sulla faccia dorsale la spinta è *negativa*, e moltiplicata per un braccio di leva *negativo* dà un momento *positivo*. Il segno risultante di questi momenti è allora opposto a quello dei momenti alari delle ali principali. Ma se si mettono davanti, invece, risultano nello stesso senso dei momenti alari ed aiutano a rovesciare invece di correggere. Ne consegue che gli impennaggi devono necessariamente trovarsi alla coda e cadono perciò nella *scia* delle ali principali (§ 23). Questo disturba in modo grave la loro efficacia, e per rimediarvi bisogna metterli molto lontani dalle ali sostentatrici. Ne consegue che l'apparecchio si allunga smisuratamente, con l'aggravante che l'impennaggio orizzontale non sopporta alcuna parte del peso. In conseguenza le travature che partono dal corpo principale e vanno alla coda, devono stare in aria da sè, come una trave incastrata per un'estremità e libera all'altra: e si tratta di travi di parecchi metri. Ciò obbliga ad allontanarsi completamente dalle strutture abituali — nelle quali all'estremità *coda* c'è sempre un supporto, anche in aria; l'apparecchio riesce più pesante e più costoso. Però è sempre minore questo inconveniente di quello della instabilità, e la soluzione sarebbe accettabile se

Digitized by Google

non vi fosse di meglio. I derivati dell'Antoinette sono venuti a una transazione, e sacrificando una parte della stabilità hanno raccorciato la trave.

***

Si porrà attenzione che in ultima analisi la stabilità si raggiunge col disporre le ali in modo che riunendole con una sola linea rappresentino una forma concava verso l'alto.

Infatti le ali principali incidenti 6°, e la coda incidente 0°, possono considerarsi essere, all'ingrosso, elementi di una forma concava superiormente; per lo meno a prua presentano una incidenza maggiore che a poppa, come appunto avverrebbe di una forma che volge la sua concavità in alto.

È accentuando meglio questa forma che si riesce alla stabilità assoluta, e questo senza ricorrere a travature esageratamente sporgenti dal corpo principale. Se noi rappresentiamo (fig. 12) un areoplano Wright, che si differenzia da tutti perchè ha il peso sopportato non più fra ali e coda come tutti gli altri, ma fra ali e testa, e facciamo i diagrammi positivi ed i negativi che — a differenza di tutti gli altri — questa volta sono delle ali sussidiarie i primi e delle ali principali i secondi, troveremo ancora che l'apparecchio è instabile, se l'incidenza è uguale per entrambi i sistemi alari, perchè nulla è cambiato salvo le dimensioni delle ali positive e quelle delle negative — ma se si dà una *forte incidenza* ai piani anteriori in confronto di quella che hanno le ali, il sistema diventa tollerabilmente stabile nel tempo stesso che diventa concavo superiormente.

Nel Wright i piani anteriori servono anche per la manovra e si fanno variare d'incidenza di continuo e perciò non si può calcolare sulla loro maggior incidenza, ma se le manovre si potessero limitare fra 12° e 15°, ciò che non è sempre pos-

Digitized by Google

sibile, il sistema avrebbe un grado tollerabile di stabilità, e se è giusto far merito agli empirici, non solo del fatto materiale delle loro creazioni, ma anche del concepimento, giustizia vuole anche che si attribuisca a Wright il merito di aver scoperto la soluzione meno irrazionale. Ma la verità è che Wright non ha compreso più degli altri i pregi ed i difetti del suo apparecchio, che con poche modifiche poteva risultare perfetto.

Il Curtiss ha modificato il Wright aggiungendovi ciò che gli mancava, una coda. Solo che invece di fissare i piani anteriori e render mobile la coda, ha fissato la coda e lasciati ancora mobili i piani davanti e non ha migliorato che di ben poco la stabilità. Noi andiamo ora a progettare un apparecchio veramente stabile, avvertendo che le disposizioni relative formano da tempo oggetto di privativa industriale.

Digitized by Google

CAPITOLO X.

Areoplano stabile.

Il centro di gravità si trova *davanti* alle spinte delle ali principali e questa è la sua corretta posizione (e non dietro come in tutti gli areoplani, salvo il Wright), e per sostenere il

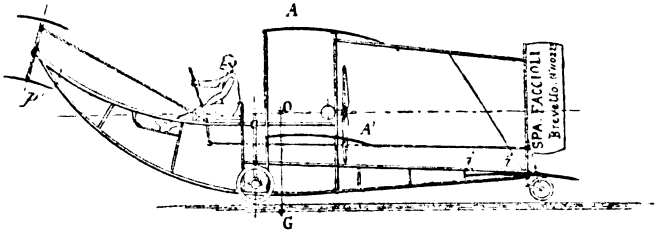


Fig. 16. — Areoplano Faccioli.

peso vi ha (fig. 16) un secondo sistema alare *fisso* a forte incidenza. I due sistemi, l'anteriore e le ali principali, producono già una stabilità di grado medio. Se noi aggiungiamo ora un impennaggio orizzontale, alla coda, la stabilità diventa di grado elevatissimo. Vediamo i diagrammi.

Supponiamo aver le ali AA' m. 1,50 di larghezza e m. 7 di bat-

Digitized by Google

tente l'ala superiore, e soli m. 4,70 l'ala inferiore. Supponiamo che i piani anteriori *pp'* abbiano ciascuno m. 0,70 di larghezza e m. 1,50 di battente, e ci sia un impennaggio orizzontale alla coda di m.^{2} 0,8 di superficie *ii'*. Questi tre sistemi alari sono *tutti fissi*. Si dia ai piani anteriori una incidenza di 12° quando quella delle ali principali e 6° e quella dell'impennaggio caudale è zero.

La distanza positiva dal centro di gravità alla spinta di 12° dei piani anteriori sia di m. 3,40, ed altrettanto quella negativa dell'impennaggio orizzontale, mentre quella negativa delle ali principali è m. 0,39° (Dalla spinta di 15°).

Ecco il quadro dei momenti risultanti:

Tabella XI

Incidenza gradi	Ala superiore mq. 10.5			Ala inferiore mq. 7			Somme negative
	Spinta alare kg.	Braccio leva cent.	Momenti kg. × cent.	Spinta alare kg.	Braccio leva cent.	Momenti kg. × cent.	
— 2	49.5	48?	2376	33 —	60?	1980	4356
0	80.3	46	3694	53.55	59	3159	6853
2	103.95	45	4470	69.3	53	3672	8142
4	125.2	43	5384	83.45	48	4005	9389
6	141.7	43	6083	94.5	43	4063	10146
8	158.3	42	6648	105.5	40	4220	10868
10	172.3	41	7064	115 —	35	4025	11089
12	181.7	40	7268	121.3	34	4124	11392
15	185.3	39	7226	123.7	33	4182	11408

Ai momenti negativi delle ali contrapponiamo ora i momenti positivi dei piani anteriori, ricordando che la loro incidenza è di 6° maggiore di quella delle ali principali.

Digitized by Google

Tabella XII

Incidenze gradi	Piani anteriori mq. 2			Ali	Differenze o momenti risultanti per incidenza delle ali	
	Spinte alari	Bracci leva	Momenti positivi	Momenti negativi	gradi .	
+ 4	23.8	333	7925	4356	— 2	+ 3569
6	27 —	335	9045	6853	0	+ 2192
8	30.15	336	10113	8142	2	+ 1971
10	32.8	337	11053	9389	4	+ 1664
12	34.7	338	11728	10146	6	+ 1582
14	35 —	339	11865	10868	8	+ 997
16	kg. 35.3	340	12002	11089	10	+ 913
18	33.7	338	11420	11392	12	+ 28
21	32.4	335	10854	11408	15	— 554

***

Se noi facciamo attenzione al risultato che abbiamo ottenuto, vedremo che esso consiste in questo: *Mentre la serie dei momenti è costituita da numeri che vanno continuamente crescendo*, come si vede da colonna 4ª e 5ª, l'ultima colonna, *quella dei momenti risultanti*, è una serie che va continuamente **decrescendo.**

Finalmente poi aggiungiamo un impennaggio orizzontale — non troppo grande per non eccedere nei mezzi di stabilizzazione fino al punto di rendere difficile il cambiamento d'assetto (*). Ed avremo, ricordando che gli impennaggi orizzontali incidono 6° meno delle ali principali, la serie dei momenti che segue:

(*) È facile *inchiodare* l'apparecchio.

Digitized by Google

Tabella XIII

Incidenza delle ali principali gradi	Incidenza dell'impennaggio orizzontale gradi	Momenti dell'impennaggio	Momenti risultanti di ali principali e piani anteriori come da Tab. XI	Somme definitive o momenti correttori dell'equilibrio
— 2	— 8	+ 1890	+ 3569	+ 5459
0	— 6	+ 1557	+ 2192	+ 3749
2	— 4	+ 1038	+ 1971	+ 3009
4	— 2	+ 519	+ 1664	+ 2183
6	zero	zero	+ 1582	+ 1582
8	+ 2	— 519	+ 997	+ 478
10	+ 4	— 1038	+ 913	— 125 (*)
12	+ 6	— 1557	+ 28	— 1529
15	+ 9	— 2124	— 554	— 2678

Si tratta ora di vedere, come si ottiene il cambiamento d'assetto.

***

Si fa uso perciò di una coda piana mobile a cerniera, intorno a un asse fisso, e che si comanda a mano coi soliti mezzi. La superficie della coda è di un metro quadro, e la distanza delle sue spinte alari dal centro è di m. 3,50 circa; perciò i momenti sono:

(*) Angolo di volo ad apparecchio privato di manovra (*désemparé*).

Digitized by Google

Tabella XIV

Momenti alari della coda o timone orizzontale.

Incidenza gradi	Spinta alare Kg.	Braccio leva cm.	Momenti negativi
0	zero	350	zero
2	2.47	Si ritiene costante	— 864.5
4	4.95		— 1628
6	7.40		— 2592
8	9 —		— 3150
10	10.15		— 3552
12	10.80		— 3780

Si costruisce questo diagramma, e sarà quello della linea a tratti (fig. 17) il quale si sovrappone a quello dei momenti alari risultanti dall'ultima colonna tabella XIII.

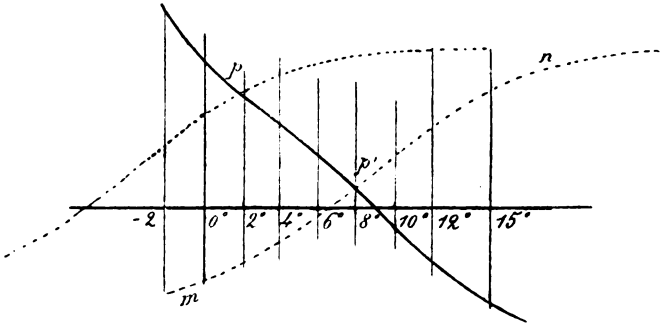


Fig. 17. — Diagramma areoplano Faccioli.

Il punto ove i due diagrammi si incrociano corrisponde all'angolo che l'areoplano è costretto a tenere in volo, perchè per quel punto il momento del diagramma negativo è uguale

Digitized by Google

al positivo. Se una causa qualunque facesse sì che il vento relativo incida con le ali di angoli più verso zero, l'apparecchio impennerebbe ed aumenterebbe gli angoli; inversamente se gli angoli di un'incidenza diventassero quelli verso i 15°. Ed i momenti correttori, che sono rappresentati dai tratti compresi fra le due curve, sono qui sempre di valore rilevante. Essi rappresentano *il valore* delle azioni antagoniste **allo spostamento dell'areoplano** dalla posizione d'equilibrio!

Se si fa scorrere il diagramma negativo sulle ascisse, l'incrocio si farà in un' altra posizione, per es., in p'. Questo sarà il nuovo angolo di volo se occorre cambiarlo per qualche occorrenza, ed esso gode ancora — stante la natura delle curve — della stessa prerogativa dell' angolo di volo di prima. Quando si fa scorrere il diagramma negativo in un senso o nell'altro, si viene a far coincidere un certo angolo di incidenza dei piani di coda, con un certo altro angolo delle ali. Ciò corrisponde dunque a cambiare l'incidenza della coda, *per rispetto alla incidenza delle ali*, ciò che appunto costituisce la manovra che fa il pilota.

***

Se noi consideriamo quello che in ultima analisi abbiamo fatto per stabilizzare in modo sicuro l'areoplano, vedremo che tutto è consistito nell'accentuare meglio che nel tipo detto Antoinette la concavità verso l'alto, dell'areoplano.

Difatti abbiamo tre incidenze diverse, 12° pei piani anteriori, 6° per le ali, e zero per gli impennaggi orizzontali, talchè raccordando con una linea unica i 3 sistemi alari, troviamo aver l'areoplano una forma generale concava in alto. Questa è la ragione *a priori*, della sua stabilità. Le spinte alari dei 3 sistemi concorrono verso un punto molto in alto sopra l'areoplano, e siccome i tre sistemi sono *fissi*, concorrono sempre

Digitized by Google

press'a poco nello stesso punto. È facile dimostrare che un sistema simile è stabile, mentre non lo è un sistema nel quale il punto di concorso è sotto al centro di gravità dell'apparecchio.

E veniamo finalmente a dare soddisfazione a quel sentimento che clamava a tutti i costi il centro di gravità in basso — solo che questa volta non abbiamo dimenticato di avvertire: **in basso** *rispetto al centro di sospensione*!

Digitized by Google

Digitized by Google

Arcoplano Faccioli.

Digitized by Google

PARTE II

Digitized by Google

Digitized by Google

CAPITOLO XI.

Equilibrio dinamico.

Finora non abbiamo contemplato se non ciò che interessava la *costruzione dell'areoplano.* Tutte le considerazioni fatte ci hanno condotto a stabilire come doveva essere composto l'areoplano acciò fosse suscettibile di mantenere il proprio assetto longitudinale in volo.

Supponendo di essere riusciti nell'intento — ciò che effettivamente poi è, perchè l'esperienza del volo lo conferma — ne consegue che — comunque variino le forze in giuoco — queste si riducono sempre ad una sola forza passante per il centro di gravità dell'apparecchio, ciò che basta perchè l'equilibrio statico non sia disturbato. Non così per il dinamico il quale esige che anche questa unica forza passante per il centro di gravità si riduca a zero.

Noi non potremo procedere oltre se non ricorriamo ad un po' di calcolo, sia pure il più elementare possibile, e cominciamo col richiamare le nozioni elementari della dinamica — ed anche ciò che le rende ostiche a molti — il linguaggio col quale vengono enunciate al fine di sintetizzare i concetti.

Digitized by Google

§ 24. **Una piccola scorsa nel campo matematico.**

Le forze si distinguono in motrici ed in resistenti, oppure attive e passive. Le resistenti o passive non sono che reazioni, fra le quali l'inerzia. Le forze passive o reazioni sono sempre eguali alle attive. La qual nozione sotto la forma: " la reazione è sempre eguale all'azione „ è ormai passata in assioma, quantunque non del tutto evidente (*).

***

Supposto un mobile sottoposto ad un numero indefinito di forze — comunque dirette od applicate e di varia intensità — si dimostra che il moto che il corpo prende per l'azione di tutte queste forze si ottiene: 1° trasportando tutte queste forze parallelamente a sè stesse nel centro di gravità; 2° componendole in una forza unica; 3° componendo in una sola tutte le coppie nate dal trasporto anzidetto.

Il sistema comunque complicato si riduce così ad una sola forza e ad una sola coppia.

Se il corpo era al riposo, la prima determina un moto di traslazione in una certa direzione, quella della forza unica. La seconda un simultaneo moto di rotazione del corpo *intorno al proprio centro di gravità*, il quale prende nell' equilibrio dinamico per molte ragioni il nome di centro di massa.

Se il corpo era già in movimento, l'azione della suaccennata forza unica si compone col moto preesistente, e si ha un

(*) La estensione di questo assioma conduce a comprendervi tutto lo scibile

Digitized by Google

cambiamento ad un tempo di direzione e di velocità, e così dicasi per la coppia se preesisteva un moto di rotazione. In altri termini: quando un mobile è sottoposto all' azione di forze varie d' intensità, direzione e punto d' applicazione, si muove come se fosse sottoposto all'azione di una forza unica *eccentrica*, cioè di una forza che non passa per il centro di massa. Questa forza ha dunque un momento rispetto al detto centro, ed è questo momento che cambia nome e prende quello di coppia, ogni volta che si deve considerare la continuità dell'azione e non più quella d'un istante.

***

Gli enunciati scientifici per mantenere il loro carattere di generalità — applicabile a tutti i casi possibili — non fanno distinzione fra l'essere e il non essere. Per i numeri il *non essere* è l'istante di passaggio fra l'essere in modo positivo e l'essere in modo negativo; è il valore particolare zero (*).

Si è detto che tutte le forze applicate ad un mobile si riducono a una forza unica applicata al centro di gravità e ad una sola coppia, d' onde ne risulta che il moto di un corpo che parte dal riposo è *sempre* una traslazione accompagnata da una rotazione. Ma se la coppia è nulla, il moto di rotazione non c'è più; numericamente c'è ancora, soltanto è zero. Se tutte le forze applicate al corpo si facessero equilibrio, non ci sarebbe nemmeno il moto di traslazione; c'è, con accelerazione zero.

(*) Platone si è dato un gran fastidio per spiegarsi come faceva il non essere ad essere. L'idea del non essere c'era, dunque, secondo le sue teorie — giustissime — doveva esserci la cosa.

E come faceva ad esserci, se non c'era! — e se c'era come faceva a non essere!

Se fosse vivo, oggi, scoprirebbe che il progredire della civiltà ha condotto al modo di risolvere il problema, con dei risultati pratici prodigiosi, e che oggi tanto conta l'essere come il non essere.

Digitized by Google

Altrettanto dicasi per il caso in cui il mobile che si considera ha già un movimento preesistente. La forza unica, che c'è sempre, per i numeri anche quando manca, fa sempre — anche quando non lo fa — un certo angolo con la direzione del moto preesistente. Ne consegue che la sua azione è *sempre* decomponibile in due altre azioni — una secondo *la direzione del moto preesistente*, l'altra secondo *la perpendicolare al medesimo moto*. La prima si dice componente *tangenziale* ed ha per effetto di far variare la velocità, la seconda si dice *centripeta* ed il suo effetto è quello di cambiare, ad ogni istante, la direzione del moto, talchè questo risulta curvilineo.

E tutte le volte che noi ammettiamo essere in azione una forza la quale non è esattamente nella direzione del moto preesistente, noi dobbiamo nel tempo stesso ammettere **che il moto è curvilineo!**

***

Si dice *trajettoria* il cammino percorso dal centro di gravità del mobile.

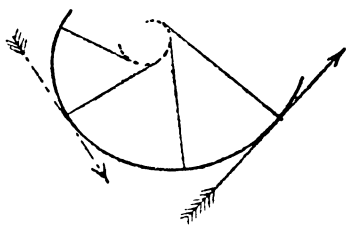


Fig. 18.

La trajettoria è dunque *sempre* — per i numeri — curvilinea, perchè la centripeta devia continuamente la direzione del moto preesistente a quell'istante che si considera; ed il caso

Digitized by Google

in cui il moto è rettilineo è un caso unico, corrispondente al valore zero della forza centripeta. La trajettoria ha dunque *sempre* una curvatura di raggio variabile, dipendente dal valore della centripeta, ed il centro dell' arco di cerchio che combina per un piccolissimo tratto con la trajettoria curvilinea cambia continuamente di posizione — anche quando sta fermo — perchè le successive posizioni dei centri di curvatura producono un' altra curva che dicesi la " inviluppata „ della prima; e quando il centro di curvatura è fisso è un caso unico pel quale la inviluppata si è ridotta ad un sol punto, indi la trajettoria ad una circonferenza. E quando il moto è rettilineo e non c'è nessuna curvatura, c' è ancora, solo che — altro caso unico — il centro di curvatura si è portato all'infinito. Questi, richiamati di volo, i principî di dinamica che ci occorre ricordare.

***

Nelle forze si distingue, oltrechè il valore o intensità, la direzione ed il senso.

Due forze direttamente opposte hanno stessa direzione ma senso opposto.

Si conviene di distinguere le tangenziali in: *positive*, quelle che hanno lo stesso senso del moto, e *negative* quelle in senso opposto; le centripete in: *positive* quelle che tendono ad aumentare il livello del mobile sul suolo, *negative* quelle opposte.

La intensità delle forze è sempre espressa paragonando l'azione della forza a quella della gravità, e perciò con un peso. La direzione la esprimeremo con l'angolo che la forza fa con l'orizzonte o con la verticale; il senso col segno + o — come si è detto.

Digitized by Google

CAPITOLO XII.

Evoluzioni.

Quando un mobile descrive col suo centro di gravità una trajettoria curvilinea, mantenendo costantemente una retta, che si suppone solidaria del mobile, *tangente alla trajettoria medesima*, si dice — e caso non si dica lo diremo noi — che il suo moto è di *evoluzione*.

Ogni trajettoria curvilinea si può considerare essere la successione di una moltitudine di archi di cerchio di un certo raggio conveniente, per il quale l'arco di circolo e la trajettoria si confondono per un certo brevissimo tratto. Dividendo la trajettoria in tratti piccolissimi, si raggiunge un grado di esattezza sufficente per l'uso corrente; quando lo si divide in un numero infinito di tratti infinitamente piccoli e idealmente — ciò che si fa benissimo col calcolo — si va all'infinita suddivisione, si raggiunge l'esattezza assoluta.

Per ogni tratto in cui si suddivide la trajettoria, si ha dunque un centro e un raggio; intorno al primo il mobile gira descrivendo un piccolo arco di cerchio. Finito il piccolo arco si cambia di poco la posizione del centro e la lunghezza del raggio, ed intorno al secondo centro il mobile gira descrivendo un secondo piccolo arco di cerchio e così via.

Dunque se noi contempliamo un mobile in *moto di evoluzione* durante un breve istante di tempo, lo vediamo in ciascun

Digitized by Google

istante muovere come se fosse invariabilmente fissato alla estremità di un raggio materiale impernato in un dato punto.

Infatti allora, la tangente alla trajettoria perpendicolare al raggio che passa per il punto di tangenza ed il mobile, conservano, l'uno rispetto all'altro — per costruzione — una posizione invariabile, ed il moto è di evoluzione (fig. 17).

Il raggio ϱ che si dice di curvatura è, come dimostrasi nella dinamica,

$$\varrho = \frac{V^2}{\text{accelerazione centripeta}} \qquad \text{(V velocità sulla trajettoria).}$$

Nel caso unico in cui V è costante (accelerazione tangenziale nulla) e l'accelerazione centripeta è pure costante, ϱ è invariabile e la trajettoria descritta diventa una circonferenza, che il mobile percorre mantenendo sempre la stessa posizione relativamente alla tangente o, ciò che fa lo stesso, al raggio passante per il centro di massa.

Quando l'accelerazione centripeta è nulla, il raggio $\frac{V^2}{\text{zero}}$ diventa infinito e la trajettoria si trasforma in una linea retta.

Noi possiamo ragionare — senza nuocere al caso generale — sul caso unico nel quale il mobile descrive una circonferenza, se ci ricorderemo che tale ragionamento — nel caso generale — va applicato soltanto a un istante brevissimo di tempo, quando la trajettoria curvilinea non è più una circonferenza.

***

Sia dunque un mobile in moto di evoluzione intorno ad un centro fisso. Intanto che il centro di gravità descrive la sua circonferenza e fa un giro esatto, il mobile *ruota* intorno al

Digitized by Google

centro di gravità e fa anche lui esattamente un giro su sè stesso. Se invece di fare un giro intero il raggio non ne facesse che una piccola parte, per esempio un angolo di *n* gradi, anche la tangente che si suppone solidaria del mobile avrebbe ruotato di *n* gradi (fig. 17).

Quali sono le forze che possono produrre questo fenomeno e come agiscono?

Considerato che tangenziale e centripeta, essendo le componenti della forza unica passante per il centro di massa, non possono dar luogo a nessuna rotazione del mobile su sè stesso, saremmo condotti a supporre che la rotazione è dovuta ad una coppia. Ma nemmeno questo è ammissibile, perchè la velocità di rotazione della tangente è costante, se la trajettoria è una circonferenza e quindi nessuna coppia è in azione. E allora perchè ruota il mobile?

In generale, nelle applicazioni pratiche ove si considerano evoluzioni (finora sono limitate alle evoluzioni delle navi), si ammette che, precedentemente alla evoluzione, il mobile ha acquistato una certa velocità di rotazione per effetto di certe coppie, poi si introducono in azione altre coppie che annullano la precedente e la velocità di rotazione resta, o meglio si ammette che resti a quel tal valore che occorre perchè la evoluzione avvenga. E siccome quello che più costa è il primo passo, così dopo non c'è più nessuna difficoltà ad ammettere che nel tempo stesso la tangenziale diventa zero e la centripeta costante. Indi più nessuna ragione si oppone a che noi possiamo credere che il mobile prenderà e conserverà moto di evoluzione perfetta..... E così sia!

Ma quand'anche alle dimostrazioni di questa fatta non si avesse nulla da opporre, lo spirito resterebbe ciò non di meno insoddisfatto; e questa è la ragione per la quale nessuno le comprende; e non si comprendono perchè non sono *vere*.

La verità vi è lontanamente contenuta, ma contorta, storpiata, mascherata da una infinità di artifizi vani, per i quali

Digitized by Google

il dotto vuole a tutti i costi far apparire di conoscere una verità che egli è il primo *ad ignorare.*

Non è vero che il mobile ruota intorno a sè stesso per velocità preacquistata, si può solo concepire che sia così, ma non può avvenire. Se esso gira intorno ad un centro mantenendosi solidario del raggio, ciò avviene perchè **quella** è la sua posizione di equilibrio rispetto alla direzione del moto e non altro.

È il suo equilibrio *statico* che lo mantiene ad un angolo fisso con la tangente alla trajettoria!

Nel nostro caso particolare non occorre spendere parole in dimostrazioni. Non abbiamo fatto altro fin qui che studiare il modo di costrurre un areoplano acciocchè conservi costante il suo angolo di incidenza con la direzione del moto.

Si può concepire che il risultato ottenuto per il moto nel piano verticale, si possa ottenere per il moto nel piano orizzontale; indi la facoltà di mantenere un angolo costante con la direzione di un moto qualunque. Ci basterà dunque vedere come in un areoplano si ottiene l'equilibrio statico nel piano orizzontale. Cioè come l'incidenza — " ideale „ — del piano di simmetria possa conservarsi costante. Per l'equilibrio longitudinale contemplavamo i moti di rotazione intorno all'asse *trasversale*, ora per il caso di equilibrio nel piano orizzontale dovremo contemplare quelli intorno all'asse verticale, cioè i moti di *bordeggio.*

Digitized by Google

CAPITOLO XIII.

Impennaggi e timone.

Le freccie o dardi che si impiegavano in tempi ormai remoti come proiettili, portavano, alla estremità opposta alla punta, delle barbe di penna, destinate a mantenerle dirette nel loro moto sempre con la punta avanti. L'ufficio di queste barbe, che si dicevano l'*impennaggio della freccia*, era precisamente quello di mantenerli costantemente *tangenti alla trajettoria* che descrivevano. Anche i selvaggi, che tuttora adoprano freccie, le impennano.

Per similitudine si chiamano *impennaggi* degli areoplani o dirigibili, i piani verticali od orizzontali che si adattano alla coda, per conferire loro facoltà di mantenersi solidali con la tangente alla trajettoria.

E, se facciamo bene attenzione a ciò che in ultima analisi abbiamo fatto per assicurare l'equilibrio statico longitudinale, vedremo che tutto si riduce, in ultima analisi, a impennare orizzontalmente con giudizio l'apparecchio.

Solo che, siccome le ali principali messe davanti al centro di gravità fanno già esse da *impennaggio al rovescio*, abbiamo dovuto ricorrere ad artifizi per far passare il centro di gravità davanti ad esse ali, sottraendo, con l'aggiunta dei piani anteriori, tutta la facoltà perturbante delle ali, e poi lo abbiamo impennato.

Digitized by Google

Questo si potrebbe fare anche per una freccia, se oltre l'impennaggio si facesse l'asta affusolata; grossa cioè sulla punta ed affilantesi man mano che si accosta all'impennaggio. La freccia vi guadagnerebbe in velocità, stabilità e direzione (*). Ma i selvaggi preferiscono oggi le armi da fuoco e non approfitteranno del nostro consiglio.

***

Il senso comune basta per capire come l'impennaggio verticale obblighi l'apparecchio a conservarsi sulla linea del moto, cioè ad angolo fisso con la tangente alla trajettoria nel piano orizzontale; la coda non può scartare nè a destra nè a sinistra, senza ricevere l'urto dell'aria, che la riporta sulla trajettoria. E, a differenza degli impennaggi orizzontali, che sono contrastati nelle loro azioni dall'effetto opposto delle ali curve, gl'impennaggi verticali agiscono senza contrasti, e perciò l'apparecchio fa un giro preciso su sè stesso nel mentre che si chiude l'evoluzione circolare supposta.

Quello che succede nel piano orizzontale, succede anche nel piano verticale, se l'apparecchio è stabile, cioè impennato con giudizio. Però si deve qui osservare che fra i due casi l'analogia non è perfetta, e che una differenza sostanziale vi è, perchè si riferisce alla *forma*, che nel piano orizzontale è simmetrica, e nel verticale no. Ma non entriamo in questa via che ci condurrebbe a concezioni astruse che non interessano al lettore.

Noi dobbiamo ora spiegare come avviene il fenomeno della *trasformazione* del moto rettilineo di un areoplano in curvilineo orizzontale.

(*) Ed anche i projettili delle armi a fuoco.

Digitized by Google

§ 25. Il timone.

Il timone è un organo così conosciuto che ogni parola spesa a descriverlo sarebbe sprecata. In una nave si dice che il timone è *alla via* " quando esso è dritto con la chiglia, diversamente si dice che è *alla banda* „. Quando il timone è alla via, la forma del galleggiante o dell'areoplano è simmetrica rispetto alla direzione del moto che si suppone avvenire nel piano di simmetria; quando invece è alla banda, la forma è dissimmetrica e perciò la resistenza del fluido non è più nel piano di simmetria.

Conseguentemente non è più possibile l'equilibrio perchè le forze non sono più in un sol piano, la loro risultante non è più nel piano di simmetria cioè nella *direzione del moto preesistente*, indi una componente centripeta, indi moto curvilineo.

Questo è il fenomeno visto nel suo assieme; cioè è la resistenza del fluido al moto di una forma dissimmetrica che produce il moto curvilineo. Ed infatti noi vediamo che nel piano verticale, ove la forma è sempre dissimmetrica, vi ha sempre una centripeta. Se quest'ultima è esattamente uguale alla componente della gravità, la centripeta è equilibrata e il moto è rettilineo, in caso diverso anche nel piano verticale il moto è curvilineo; ed enuncierò questo teorema che resta dimostrato da tutto quanto precede: Un corpo (in moto in un fluido) che non sia di forma simmetrica rispetto a due piani fra loro perpendicolari contenenti la direzione del moto, non può avere moto rettilineo se non quando esiste l'equilibrio assoluto. L'areoplano è precisamente in questo caso per il moto nel piano verticale (*).

(*) Tutte queste considerazioni erano molto trascurate nei sottomarini.

Digitized by Google

L'azione del timone messo *alla banda*, è quello di far scartare la coda dalla parte opposta della *banda data*. L'angolo del quale l'apparecchio gira su sè stesso per effetto della banda data al timone non può essere maggiore dell' " *angolo di barra* „, così si dice l'angolo del quale si è girato il timone. Infatti, quando i due angoli nominati sono eguali il timone torna ad essere nuovamente sulla linea del moto e non agisce più; ma salvo il caso di costruzione imperfetta, l'angolo di cui gira l'apparecchio, deve essere sempre minore dell'angolo di barra.

Infatti: gl'impennaggi verticali, quando la coda si scarta, ricevono l'urto dell'aria dalla parte opposta d'onde la riceve il timone e ne contrastano di più in più vivamente l'azione man mano che la coda scarta dalla tangente alla traiettoria; per cui la rotazione dell'areoplano su sè stesso cessa, quando le due azioni contrarie, *timone* ed *impennaggio*, si equilibrano — cioè quando la risultante della pressione dell'aria sull'impennaggio verticale e sul timone, viene a passare per il centro di gravità.

Noi sappiamo già che soltanto quando la risultante delle forze passa per il centro di gravità si riduce a zero la somma dei momenti. Da indi in poi qualunque scarto dalla posizione assunta dal piano di simmetria rispetto alla trajettoria è impedito per l'intervento o dell'impennaggio o del timone e l'apparecchio, se fosse una nave, conserverebbe l'angolo del suo piano di simmetria con la tangente alla trajettoria orizzontale. Ma se non ci fosse alcun impennaggio verticale dietro il centro di gravità, ciò che .talvolta succede nelle navi — molto involontariamente — non si avrebbe più *stabilità di rotta*, come si dice, cioè il mobile reso dissimmetrico tenderebbe a girare su sè stesso nel senso incominciato fino anche a capovolgere la sua disposizione rispetto al moto. Infatti:

Sia (fig. 19) una nave in evoluzione; immaginiamo una retta

Digitized by Google

qualsiasi passante per il centro di gravità trasversalmente all'asse longitudinale e supponiamo che rappresenti la pressione che l'acqua esercita sul fianco della nave in moto secondo la trajettoria curvilinea *xy*. Se prolunghiamo (fig. 19) la pressione sul timone fino all'incontro *m* con questa retta, avremo, componendo le due pressioni, dell'acqua sul fianco della nave e quella sul timone, sia essa quella rappresentata

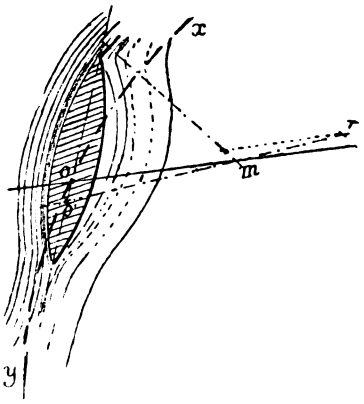


Fig. 19. — *Viraggio* di una nave.

sul disegno o un'altra che non sia *a poppavia* (*) del centro di gravità O, sempre una risultante che passando per un punto come *m*, va *a proravia* (**) del centro di gravità, come la *mr*, la quale produrrebbe appunto l'effetto qui sopra descritto, di far capovolgere la disposizione del mobile sulla trajettoria. Se vorremo che questo non succeda, dovremo portare la pressione laterale, a *poppavia*, di almeno le quantità OO', ciò che corrisponde precisamente a impennare il mobile (***).

(*) A poppavia di un punto: fra la poppa ed il punto

(**) A proravia „ „ prora ed il punto.

(***) Fin da 15 anni fa mandai una memoria, che non si volle pubblicare, alla "Rivista Nautica„ sulle evoluzioni delle navi e sulla teoria del timone.

Digitized by Google

Supponiamo dunque l'areoplano ben impennato anche verticalmente. Lo sbandamento del timone (fig. 19) fa prendere e mantenere all'apparecchio e perciò al suo piano di simmetria, un certo angolo con la sua trajettoria, ma il moto, salvo una leggera deviazione opposta alla evoluzione dovuta allo scartarsi della coda, continua nella direzione di prima, cioè esso non coinciderà più col piano di simmetria. Ne consegue per il § 17 che le spinte alari si porteranno dalla parte

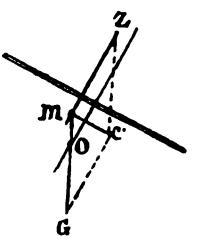


Fig. 20. — Spinta alare fuori del piano di simmetria mZ, la quale, composta con la gravità mOG, dà la mC. Questa agisce da centripeta e con un momento rovesciante rispetto ad O.

del piano di simmetria che si presenta al fluido, cioè sopravento (fig. 20). Fra le spinte alari mZ, non più nel piano di simmetria e la gravità, che vi è sempre, si dà luogo alla formazione di una coppia che fa girare l'areoplano in modo che questo alza l'ala dalla parte opposta a quella verso cui venne sbandato il timone. La forza di sospensione risultante di propulsiva e spinte alari che hanno girato insieme con l'apparecchio non è più verticale e composta con la gravità da una risultante mC, che è la forza centripeta, e fa incurvare il moto sempre verso la parte dell'ala abassata. Da indi in poi e fintantochè l'apparecchio resta inclinato, la trajettoria è curvilinea coi suoi centri dalla parte dell'ala abassata. E tutte le volte che per una ragione o per l'altra l'apparecchio

Digitized by Google

s'inclina trasversalmente, intervenga o no il timone, la trajettoria si fa curvilinea nel piano orizzontale col centro dalla parte dell'ala bassa.

§ 26. **Digressione non del tutto inutile.**

In verità il timone verticale, utile nell'areoplano per aiutare la correzione degli squilibri laterali, meglio assai che non coi " *gauchissements* „, serve assai male per le evoluzioni orizzontali o, come si dice, per " *virare* „, ed il suo impiego deve essere fatto ad intervalli, colpo per colpo.

L'azione del timone è sempre stata mal compresa ed in generale si riteneva che i " *cambiamenti di fronte* „ di un mobile in moto, bastassero perchè il mobile — *ipso facto* — cambiasse la direzione del suo moto.

Io ho publicato molti anni fa (1894, *Teoria del volo*) un sunto di teoria del timone e dimostrato che gli areoplani, per *virare*, dovevano necessariamente inclinarsi trasversalmente; ma non è che da poco tempo in qua che la persuasione ha penetrato i più, tant'è che nel libro del compianto FERBER (*L'aviation*) vi ha una vignetta rappresentante un viraggio di Farman — nei suoi primi voli — con sotto la leggenda:

" Virage de Farman le 13 Janvier 1908 pour gagner le prix Deutsch-
" Archdeacon. Il a appris que pour virer il faut *laisser pencher* „,

dalla quale si rileva che il Farman si aspettava di far virare l'apparecchio semplicemente facendogli cambiare un po' di fronte, con l'impiego del timone.

Ma se la cosa non succedeva nel modo che Farman e le persone che lo assistevano avevano previsto, e se vi si aggiungeva una ben sgradevole e non aspettata inclinazione

Digitized by Google

dell'apparecchio, non è meno vero che in tutti i generi di locomozione in uso basta far cambiare di fronte il *loco motore*, per vedere questo " virare „. L'empirico istintivamente ragiona così: " Se l'apparecchio ha una facoltà qualsiasi che gli fa tenere nel moto la direzione che va dalla testa alla coda, bisognerà bene che giri se io faccio girare la direzione che passa da testa a coda „. E ragiona giusto.

È il dotto che ragiona male e va fantasticando di coppie e di centrifughe e di momenti e fa un *insalata* di sproloqui, che il buon senso dell'empirico rifiuta di prendere in esame.

***

Come si fa ad insegnare nella scuola che il *moto curvilineo* è sempre prodotto per l'intervento di una forza passante per il centro di gravità *che non è nella direzione del moto preesistente* e poi insegnare nella pratica, quando si tratta di applicare la dottrina, per esempio, al moto curvilineo di una nave (*Théorie du navire*):

" Se tutte le forze fossero applicate al centro di gravità, il " movimento sarebbe una traslazione obliqua ma *rettilinea!* „ (*sic*), e poi:

" Ma non è così; *le forze non essendo applicate in questo* " *centro*, ciascuna di esse produce un momento e la somma " dei momenti fa girare la nave intorno al centro di gravità " *e la trajettoria da indi in poi è una curva* „*!!*

***

Prego il lettore di credere che a me personalmente importa nulla degli errori innocui — quando non sono che matematici — dei dotti, e che la riproduzione di questo paragrafo e

Digitized by Google

forse di altri, intende soltanto a prepararmi una difesa anticipata, caso mi si facesse l'addebito che metto un po' troppo impegno nel richiamare alla mente del lettore i principî corretti della meccanica razionale.

***

Una spiegazione teorica, per essere compresa, deve essere completa e le spiegazioni abituali, le quali consistono a far vedere — quando ci si riesce — l'equivalenza *numerica* di certe azioni a certe altre, non sono spiegazioni e lasciano sempre lo spirito insoddisfattto ed ancora alla ricerca del *perchè?*

Pazienti dunque il lettore se io mi dilungo e mi sia invece grato per la pena che mi dò di porgergli una vera spiegazione, *almeno quella che a me consta.*

Ha egli mai, il lettore, posto a sè stesso la domanda: come fa un areoplano a andar dritto per il suo cammino? Forse no, perchè è una domanda che gli sarebbe apparsa inutile... chi sa, anche ridicola. Non lo pensi però, perchè non lo è; e quando egli saprà come fa un areoplano a andar dritto, saprà come fa a " virare „.

***

Una locomotiva si capisce subito come fa a andar dritta perchè si vede il binario, e si capisce subito come fa a virare; s'incurva il binario e una delle due, o la locomotiva riesce a sormontare il binario, sollevando il proprio peso e allora *sraila*, o non ci riesce e bisogna ben che viri. Un'automobile si capisce come vada dritta quando le quattro ruote sono parallele al suo *longitudinale*, se si riflette al solco che

Digitized by Google

le ruote fanno in terra, solco non sempre visibile, ma che c'è sempre, e che in ogni caso diventa visibile quando si faccia passare e ripassare le ruote sugli stessi punti, finchè abbiano sufficientemente *laminato il terreno.* E si capisce subito che, quando si sterza l'avantreno, le ruote davanti con le ruote di dietro formando due elementi di un binario curvilineo, l'automobile debba virare.

Anche una nave si capisce che debba andar dritta, quando il timone è alla via, perchè si vede l'acqua che investe i suoi due lunghi fianchi e che fa da *guida al movimento.* I due fianchi sono invero convessi, ma siccome la forma è simmetrica, la nave non può andare di traverso al suo " binario „, piuttosto da una parte che dall'altra e senza incontrare una viva opposizione e perciò va — praticamente — diritta. E quando si mette il timone alla banda e si obbliga con esso la nave a *andar di traverso* al suo binario, si capisce che debba virare, perchè si vede la nave appoggiare contro l'acqua con un fianco solo e questo, essendo curvilineo, fa diventare curvilinea la guida del moto. È una guida acquea che cede, ma pochi si figurano quant'è colossale lo sforzo che bisogna esercitare per farla cedere ed offre, perciò, una resistenza sufficente a far deviare in modo permanente il moto. Dunque, anche per la nave si riesce a scoprire una guida del movimento; ma nell'areoplano dov'è la guida del moto? Invano la si cerca, non c'è! E allora come fa a andar dritto? È una domanda più imbarazzante di quello che a prima giunta si potrebbe credere.

Io immagino cosa risponderebbe subito un dotto, non pratico. " È l'inerzia stessa del mobile che ne conserva rettilineo il cammino „. Errore! L'inerzia è una reazione e questa non si produce se non c'è l'azione. Dunque se la forza d'inerzia si manifesta è perche l'azione è già in atto; dunque il moto già devia. L'empirico forse risponderebbe che sono gli impennaggi verticali che tengono il mobile diritto nel suo cammino;

Digitized by Google

non più assurdo perchè contiene una parte del vero, ma che non basta per spiegare, perchè non lo contiene tutto. Dato che gli impennaggi tengano dritto *il mobile sul suo cammino*, non tengono però dritto *il cammino*. E allora perchè va dritto l'areoplano?

***

La locomozione aerea è il trionfo dei trucchi! Tuttociò che vi succede è sempre il contrario di quello che ognuno doveva ragionevolmente aspettarsi. La riuscita delle macchine volanti segna, senza alcun dubbio, una delle più gloriose conquiste dell'ingegno umano, e non è riuscita che per un cumulo di malintesi! Ho già fatto notare (§ 14), trattando della resistenza dell'aria sulle ali, come la concezione che si aveva del fenomeno, era completamente erronea anche molto tempo dopo che gli areoplani volavano, e che dobbiamo specialmente agli studi di Eifel una nozione più giusta. Ora aggiungerò che, all'infuori della concezione della parte materiale dell'organismo, tutto il resto è riuscito per la semplice ragione che l'effetto reale è sempre stato l'opposto di quello che il costruttore si proponeva di raggiungere. Si mette una coda con l'intenzione che porti, onde poter centrare l'apparecchio e si riesce a *una specie di equilibrio* perchè la coda... non porta. Si mette un timone, persuasissimi che tanto basta per virare, e si riesce a virare, perchè il timone... non funziona da timone. Si mettono degli impennaggi, persuasissimi che essi tengono il longitudinale sulla direzione del moto e che con ciò l'areoplano filerà dritto, e l'areoplano fila dritto... precisamente per la ragione opposta, perchè gl'impennaggi non tengono il longitudinale... nella direzione del moto...

Eterna storia! Colombo parte convintissimo ch'egli ha scoperto la miglior via per andare nell'India..... e capita in America.

Digitized by Google

***

D'altra parte sarebbe ingiustificata la nostra meraviglia che non succeda altrimenti; questo è il procedimento naturale, ovvio, fatale, degli eventi. La riuscita non può mai, almeno in tesi generale, essere attribuita al " Sapere „ che segue, *non precede.*

La riuscita è dovuta alla fede! e della fede è il glorioso premio!

E ben disse il poeta — quantunque con altra intenzione —:

" Gloriosa fede ai trionfi avvezza „.

***

Riprendiamo l'argomento: il compianto capitano Ferber, nel suo libro — *L'aviation, ses débuts, son développement* — ha lasciato scritto che l'areoplano in volo è, in fin dei fini, un mobile che si muove sopra una superficie che resiste al suo peso, la qual superficie è l'areoplano stesso che se la crea col suo moto. E difatti si può concepire che sia così.

Il sostegno aereo dell'apparecchio è lo strato d'aria compressa, che si trova sotto le sue ali, la pressione del quale equivale alla differenza di due pressioni, quella sotto la superficie ventrale e quella sopra la superficie dorsale. Insomma, grossolanamente, possiamo figurarci che l'areoplano *slitta*, con le sue ali, sopra una *pista aerea* di aria compressa. Nulla impedendo all'apparecchio di scivolare a destra od a sinistra della sua pista, non si vede a prima giunta come fa a *filar dritto.* È vero che noi vediamo i projettili andar dritti, press'a poco, nel piano verticale del tiro; ma i projettili sono corpi

Digitized by Google

simmetrici tutt'attorno al loro longitudinale e le cause di deviazione sono minime; ma non così in un areoplano. Noi abbiamo detto che un areoplano è simmetrico rispetto al suo piano longitudinale, ma questa simmetria c'è fino a un certo punto. E la spinta propulsiva è proprio esattamente nel piano di simmetria? Chi se ne cura! E il peso è proprio esattamente sul piano di simmetria? All'ingrosso! E l'aviatore si siede proprio nel punto giusto? Non ci pensa nemmeno. E se prende con sè un passeggero ha cura di ripartire esattamente i pesi? Troppo incomodo. E quando si mette l'olio e la benzina si fa attenzione che non si turbi la simmetria? Oh, mai! E si guarda, prima di partire, che le ali non si siano deformate? Ci si guarda dopo, se però se ne manifesta l'assoluta necessità. Non è dunque il caso di invocare l'esempio dei projettili, le cause di deviazione di moto nell'areoplano non mancano; assolutamente privi come sono di guida del moto, non dovrebbero filar dritto nessuno e tutti dovrebbero volare a *casaccio*.

§ 27. **Derapare.**

Ebbene, questo non succede perchè l'areoplano, il quale crea da sè, col proprio moto, la sua pista aerea, la solleva anche da sè, da quella parte precisamente verso la quale il moto devia, inclina la pista e fa con essa un *argine* alla deviazione. Il moto crea la guida del moto!

Scendiamo all'analisi:

Sia (in pianta) xy da x verso y il moto di un areoplano raffigurato soltanto col suo longitudinale, e sia in o che si manifesta una deviazione dalla linea retta. Non è ammissibile una deviazione istantanea; il centro di gravità descriverà una certa curva il cui centro istantaneo sarà q, per esempio: Se

Digitized by Google

gli impennaggi conservassero, come si voleva, il longitudinale sulla linea del moto, tutto intero l'areoplano girerebbe intorno al punto *q*. Ma questo non può avvenire *data la forma dell'areoplano*, nella quale gli impennaggi verticali si trovano alla estremità posteriore, alle volte molto distante dal centro di gravità in *i*, per esempio: Se noi, centro in *q*, con apertura di compasso *qi*, descriviamo l'arco passante per *i*, vediamo che,

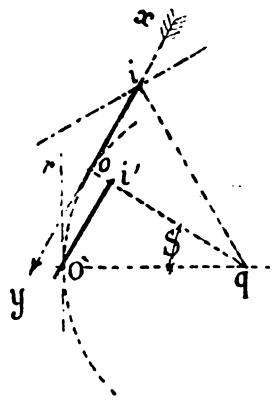


Fig. 21. — Derapare.

mentre il moto del centro di gravità è, secondo la perpendicolare, al raggio *qo*, quello degli impennaggi è, secondo la perpendicolare, al raggio *qi*, e che perciò essi oppongono una resistenza non indifferente a permettere la *rotazione* del longitudinale, acciocchè questo possa *avvolgere* la curva che descrive il centro di gravità. E vediamo che questa resistenza, oppositrice alla rotazione su sè stesso dell'areoplano, non cesserà se non quando il longitudinale sarà venuto in O'*i'* dove l'impennaggio, trovandosi perpendicolare al raggio *qi'*, è di nuovo sulla linea del proprio moto. Se noi andiamo a cercare di qual angolo deve scartare il longitudinale dalla linea del

Digitized by Google

moto perchè questo avvenga, troviamo che, per ragione della perpendicolarità dei lati, sono uguali gli angoli $rO'i'$ ed $i'qO'$ e che perciò: detta l la distanza fra centro di gravità e centro di figura dell'impennaggio, ϱ il raggio di curvatura e δ l'angolo di cui troviamo scartato il longitudinale,

sarà: $$O'i' = l = \varrho \operatorname{sen} \delta \quad \text{e} \quad \delta = \frac{l}{\varrho}.$$

E allora diremo che l'angolo δ non può essere zero, o cioè il longitudinale non può trovarsi sulla linea del moto (*), se non quando ϱ è infinito, cioè *il moto rettilineo*. Sempre dunque, quando il moto devia, gli impennaggi fanno scartare il longitudinale dalla linea del moto, e di quantità di più in più forti quanto più il moto devia, ciò che equivale a dire, quanto più ϱ è piccolo. Nel tempo stesso: il senso in cui il longitudinale scarta, non può essere che verso l'interno della curva, e perciò *sempre* ne risulta per l'areoplano, *un moto obliquo da quella parte del piano di simmetria verso il quale il moto devia*, cioè verso l'interno della curva (Vedi figura).

Dopo che il longitudinale si è disposto nel modo descritto ed indicato dalla figura, allora solo il moto dell'areoplano può diventare di evoluzione, il longitudinale mantenendo sempre l'angolo δ *con la tangente alla trajettoria*. Mentre invece nel primo periodo della evoluzione stessa, il moto dell'areoplano è press'a poco una *traslazione curvilinea*, come indicherebbe sulla figura 21, per es., la retta *oi*, facendola passare parallelamente a sè stessa in $O'i'$.

Se ora noi ricordiamo che ogni volta che il moto obliqua rispetto al piano di simmetria, le spinte alari si trasportano fuori del piano di simmetria medesimo, dalla parte verso cui

(*) S'intende sempre: del moto del centro di gravità.

Digitized by Google

ha luogo l'obliquità del moto, e che ne consegue fra spinte alari e peso la formazione di una coppia che fa sollevare l'ala sopravento (§ 17), vedremo che ogni deviazione del moto ha per immediato risultato di far inclinare l'areoplano, e con esso la sua pista aerea, sollevandolo dalla parte *interna della curva*, cioè dalla parte verso cui il moto devia, e ciò continua fintantochè il moto non devia più; locchè equivale a dire: *finchè non sia compensata la causa di deviazione.*

Insomma, l'areoplano crea da sè stesso delle sponde alla sua pista, quando occorrono.

Invece di aspettare che le sponde l'areoplano le fabbrichi da sè, può bene il costruttore fabbricargliele lui, dando, per es., un po' di V alle ali. Allora la pista ha sempre due sponde, e noi vediamo dov'è *la guida del moto.* E qualche costruttore lo ha fatto..... naturalmente con altra intenzione.

Ed ora che ci siamo fatti un concetto, sia pure all'ingrosso, ma però un concetto del come è guidato il moto di un areoplano, potremo finalmente vedere come fa a " virare „.

Digitized by Google

CAPITOLO XIV.

Viraggio degli areoplani.

Riprendiamo l'areoplano nel punto in cui, avendo dato della banda al timone e messo il longitudinale, in deriva, le spinte alari escono dal piano di simmetria.

Sia AA′ la projezione sul piano del disegno del piano alare di un areoplano inclinato trasversalmente, *ppp′* la traccia del suo piano di simmetria supposto perpendicolare al piano del disegno; *o*, il centro di gravità ed OG la forza di gravità, parallela al piano del disegno, verticale.

Le spinte alari non sono sul piano di simmetria, ma bensì spostate dalla parte dell'ala alta; sia, per es., *m*Z la loro risultante.

Facciamo passare per O un piano orizzontale e nel punto in cui viene intersecato dalla *m*Z, operiamo la decomposizione di questa in tre forze: *m*Q verticale, *m*C orizzontale, entrambe sul piano o parallele al piano del disegno ed *m*R pure orizzontale, ma perpendicolare al piano del disegno. Quest'ultima non si può vedere che nella projezione orizzontale, ove appare anche la OP, forza propulsiva.

La *m*Q, con la forza di gravità, dà una coppia che tende ad aumentare l'inclinazione e che chiameremo coppia rovesciante. La *m*R con la OP, dà una coppia che fa girare l'areoplano nel senso che il suo longitudinale torna sulla linea del moto *xy*, attualmente obliquo verso l'ala alta. La *m*C è la centripeta che fa deviare il moto verso l'ala bassa. Nel tempo stesso gli

Digitized by Google

impennaggi *i*, ricevendo il vento dell'areoplano dalla parte dell'ala alta, fanno anch'essi girare l'areoplano in modo da ricondurre il longitudinale sulla direzione del moto, *e se il timone è lasciato andare alla via*, rapidamente l'apparecchio si ritrova sul filo del vento. Le spinte alari ritornano di nuovo sul piano di simmetria, e perciò sparisce la coppia rovesciante *m*Q-OG, ed insieme la *m*R-OP. Ma nel preciso istante,

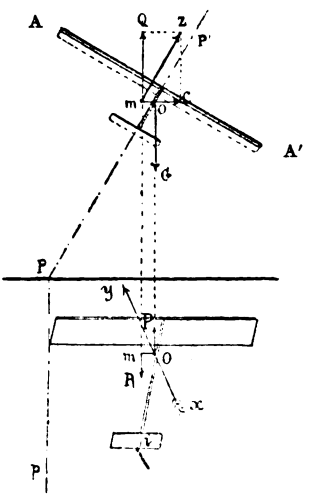


Fig. 22. — Viraggio degli areoplani.

PPP' traccia del piano di simmetria,

in cui questo avviene, la velocità di rotazione rovesciante, è al massimo del suo valore. Infatti, fino a quell'istante la *m*Z è sempre stata dalla medesima parte del piano di simmetria, dunque la coppia rovesciante sempre in azione, dunque il moto di rotazione dell'areoplano sempre accelerato. Ne consegue che, nell'istante in cui si ristabilisce l'equilibrio statico-trasversale, non cessa l'inclinarsi dell'areoplano e questo continua *per inerzia* il suo movimento rovesciante. Senonchè, nel

Digitized by Google

tempo stesso che questo avviene, gira anche il longitudinale per portarsi dentro dalla curva, dell'angolo che abbiamo distinto con δ (§ 27), sempre che il timone sia alla via, perchè diversamente l'azione degli impennaggi è contrastata da quella opposta del timone. In conseguenza, come si è dimostrato, la mZ passa dalla parte dell'ala bassa, dando luogo a due coppie analoghe alle precedenti — di quando si trovava dalla parte dell'ala alta — ma di senso inverso. D'onde viene che, per prima cosa, è arrestata la rotazione rovesciante, e in seguito l'areoplano tende a raddrizzarsi.

Daremo un nome all'angolo δ di cui il longitudinale scarta quando il centro di gravità descrive una curva, lo chiameremo, p. es., angolo di *derapaggio* o derapamento (*), o come più piacerà. Il valore di quest'angolo, oltrechè dal raggio ρ di curvatura, dipende anche dalla distanza l dell'impennaggio verticale al centro di gravità. Se quest'angolo combina ad essere appunto quello occorrente perchè le spinte alari si portino fuori del piano di simmetria, verso l'ala bassa, di quel tanto che fa bisogno per compensare la maggior velocità dell'ala alta, la quale è esterna alla curva, l'equilibrio laterale si ristabilisce per un certo angolo di " derapamento „, dopo poche oscillazioni dovute all'inerzia, per la quale sia l'angolo di inclinazione trasversale che quello di derapamento vengono sorpassati alternativamente in più ed in meno. Se la distanza fra centro di gravità ed impennaggi è minore della giusta (caso rarissimo), l'angolo di derapamento risulta troppo piccolo, la compensazione non ha luogo se non quando, per l'aumentata inclinazione trasversale, la curva si stringe tanto che si abbia $\frac{l}{\rho}$ al giusto valore. Se finalmente, caso più frequente, la distanza

(*) Gli automobilisti usano questo termine, di provenienza francese, per indicare la tendenza dell'automobile in viraggio a fuggire secondo la tangente.

Digitized by Google

fra centro di gravità ed impennaggio verticale (che in molti casi è il timone alla via) è più grande della giusta, l'angolo di derapamento risulta troppo grande e allora la compensazione è eccessiva, l'areoplano si raddrizza e la curva si allarga finchè si abbia $\frac{l}{\varrho}$ al valore giusto.

Si può sempre, dando un po' di banda al timone o in un senso o nell'altro, far aumentare o diminuire l'angolo di derapamento e perciò " virare „ con quel raggio che più conviene.

Non importa far notare che la funzione del timone nell'areoplano non è più quella di determinare la rotta, e veramente è l'occasione di dirlo, nè timone nè impennaggi verticali hanno senso comune in un apparecchio volante. Ma li adopero anch'io per evitare il disturbo di esperimentare altre forme più appropriate. Servono, *aggiungendo a questi organi l'uomo*, e basta.

***

Quando vuol virare, il pilota dà un colpo di timone per far inclinare l'apparecchio, poi sorveglia l'inclinazione; se s'accentua troppo lascia andare, se accenna a sparire ripete il colpo di timone, e via.

Gli areoplani hanno quasi tutti impennaggi tali che quando si lascia andare il timone completamente alla via, l'areoplano, *se è stabile longitudinalmente*, si raddrizza così vivamente che sorpassa sempre, per inerzia, l'angolo di derapamento che gli corrisponde, e torna in piano e non di rado passa a inclinarsi dall'altra parte; per cui, in molti casi, per virare, bisogna sempre tenere il timone un po' alla banda.

Molti pilota dei *Farmans* invece di far uso del timone per far inclinare l'apparecchio, adoperano i " gauchissements „ od alettoni, che tutti conoscono e dei quali parleremo più

Digitized by Google

avanti. Infine, in apparecchi leggeri si può virare con il semplice spostamento della persona. Si può fare come si vuole. Ciò che interessa è che l'apparecchio s'inclini.

§ 28. **Equilibrio laterale.**

Dopo tutto quello che si è detto deve essere manifesto che l'equilibrio laterale negli areoplani è automatico. Se non lo fosse stato, mai un areoplano avrebbe volato e si può aggiungere che non volerebbero nemmeno gli uccelli. Non abbiamo nessun esempio di locomozione su un appoggio sferico e l'areoplano sarebbe il primo, se l'equilibrio laterale non fosse automatico. Nessun provvedimento è necessario per garantirlo all'infuori di assicurar bene l'equilibrio longitudinale e la velocità. E tutti gli apparecchi pei quali si può trovare utile l'impiego di timoni laterali o " gauchissements „, onde tenere in piano le ali, rivelano un difetto nel loro organismo, difetto da altra parte visibile anche a occhio nudo.

***

Se supponiamo che ci sia vento in direzione trasversale al moto di un areoplano e che questo venga investito da un vento relativo obliquo, dovremo ammettere che tosto l'areoplano s'inclina alzando l'ala sopravento. Ma insieme con l'inclinazione avviene la deviazione del moto verso l'ala bassa e il derapamento già spiegato (§ 27) e subito si troverà che l'areoplano si è disposto in modo da ricevere il vento relativo dalla parte dell'ala bassa. Se l'equilibrio longitudinale è

Digitized by Google

sicuro, l'areoplano risolleva quest'ala e torna in piano, alle volte fin troppo vivamente.

Abbiamo detto che l'equilibrio trasversale è automatico " se l'equilibrio longitudinale è sicuro „. Il perchè di questo se..... non si vede subito e bisogna spiegarlo.

Perciò è necessario veder come si trova esattamente nello spazio il piano alare di un areoplano, che è inclinato trasversalmente di un certo angolo, p. es., 30°, e che nel tempo stesso ha una certa incidenza, per es., 7°.

Ricorriamo a un artificio (fig. 23). Si prenda un libro, piuttosto grande, rilegato in cartone, un registro, per es., e posatolo sopra un piano orizzontale, si apra la copertura di cartone fino a farle prendere una discreta inclinazione, che ammettiamo essere di 30°. D'altra parte si prepari una squadra o triangolo rettangolo di cartoncino, i cui cateti sieno fra loro nel rapporto, per es., di 1 : 9 (angolo di 7°).

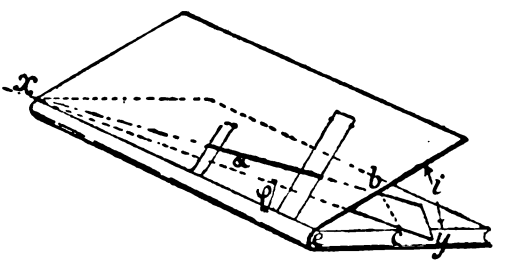


Fig. 23.

Questa squadra si deve insinuare fra la copertura e il testo del libro, tenendola perpendicolare al piano della copertura, e cercando la posizione da darle affinchè venga a combaciare, coi due lati più lunghi, coi piani del testo e della copertura come mostra la figura 23.

Finalmente si segni sulla copertura la linea retta che passa

Digitized by Google

per i punti *xc-xb*, ove il piano della squadra intersecherebbe il piano del testo e della copertura.

Se quest'ultimo rappresenta il piano alare, la squadra rappresenta il piano di simmetria e la retta *xy* l'asse longitudinale, e la retta *xb* la mezzaria delle ali di un areoplano, la cui inclinazione trasversale è di 30° e l'incidenza 6°.

Lo spigolo *xe* del libro, rappresenta la traccia del piano alare sul piano orizzontale, ed è dunque una orizzontale, e tutte le rette condotte sulle ali parallelamente alla traccia *xe* sono tutte orizzontali e tutti i venti relativi che dalla parte dell'ala bassa sono paralleli a queste rette, hanno tutti incidenza zero con il piano alare.

Andiamo a vedere che angoli farebbero questi venti con il piano di simmetria.

Indicando con φ l'angolo cercato e al solito con α, l'angolo di incidenza del piano alare ed i l'angolo del piano alare con l'orizzonte, dai triangoli delle figure si ricava $bc = xc \operatorname{sen} \alpha$

$$bc = ce \operatorname{sen} i$$

indi:
$$xc \operatorname{sen} \alpha = ce \operatorname{sen} i$$

$$ce = xc \operatorname{sen} \varphi$$

$$ce = xc \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} i} \text{ indi } \operatorname{sen} \varphi = \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} i}.$$

Dalla quale consegue che φ è di più in più piccolo quanto più grande è l'inclinazione. Nel nostro caso viene

$$\operatorname{sen} \varphi = \frac{\operatorname{sen} 7^\circ}{\operatorname{sen} 30^\circ} = \frac{122}{500} = 0{,}244$$

e dalle tavole trigonometriche $\varphi = 14^\circ, 10$.

Digitized by Google

Dunque tutte le rette che fanno col piano di simmetria dalla parte dell'ala bassa un angolo di 14' 10 sono tutte orizzontali.

Basta dunque che il vento relativo faccia un angolo di 14° col piano di simmetria dalla parte dell' ala bassa, perchè gli angoli di incidenza divengano nulli. Quest'angolo è facilmente prodotto dal " derapamento „, è anzi uno dei più piccoli. Se l'apparecchio è stabile, esso si raddrizza prontamente sulla trajettoria, l'incidenza si fa superiore a zero e le spinte alari si mantengono al loro giusto valore e fanno rialzare l'ala; ma se l'apparecchio fosse instabile e toccasse al pilota provvedere, come farà costui ad accorgersi che gli angoli di incidenza si sono annullati, egli che percepisce soltanto l'orientazione sul piano di simmetria, la quale non è alterata? La incidenza resterà zero!

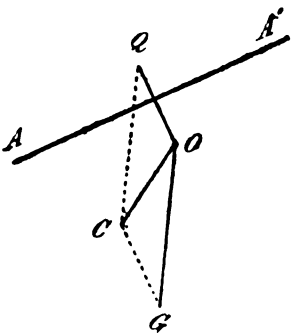


Fig. 24.

Vediamo cosa succederebbe in tal caso. Proiettiamo il sistema sul piano verticale normale che passa per il battente e sia questo il piano del disegno (fig. 24).

Noi abbiamo una spinta alare che è diventata all'ingrosso la metà del peso, perchè a zero gradi essa è 33 quando a 7° era 68.

Digitized by Google

Dunque componiamo la gravità con una spinta alare che ne sia la metà ed avremo la centripeta OC, la quale ci dice che la trajettoria s'incurva in quel piano del quale la centripeta ci dà l'inclinazione, l'apparecchio discende in curva. Questo sarebbe un'attenuante per l'apparecchio instabile, se il pilota provvedesse.

Infatti la trajettoria si farebbe più incidente con le ali. Ma se l'aviatore non provvede, alle volte perchè avvertito della mal parata lascia discendere, mentre invece dovrebbe far ogni sforzo per risalire, alle volte perchè non avverte il pericolo, l'apparecchio gira nel piano longitudinale, insieme con la trajettoria e l'incidenza si conserva sempre zero.

Noi sappiamo (§ 17) che in questo caso l'ala non si rialza più, e l'apparecchio punta inevitabilmente al suolo scivolando sul piano inclinato delle ali.

Ecco il perchè l'equilibrio longitudinale deve essere stabile per sè — se si vuole assicurare il trasversale. Ogni volta che l'apparecchio *derapa*, gli angoli d'incidenza tendono ad annullarsi; se l'apparecchio è stabile per sè, si rialza sulla trajettoria e le spinte alari lo portano rapidamente in piano, o diversamente punta al suolo perchè l'incidenza è zero, e resta zero.

Non sempre il pilota può capire come si trova il piano alare rispetto al vento relativo e ne vedremo dei casi ancora più persuasivi, e generalmente non sa che in tal caso il rimedio è quello di impennare l'apparecchio.

Digitized by Google

CAPITOLO XV.

Il vento e la deriva.

Un areoplano in volo in aria calma, lo abbiamo già detto, riceve l'urto del fluido tal quale come se fosse l'aria che si muove *contro* di esso, con la velocità che si suppone avere l'areoplano e l'apparecchio fosse fermo; e perciò ci è assolumente indifferente stabilire quale dei due è fermo e quale si muova. Per comodità abbiamo sempre preferito far muovere l'aria; ma questo si può fare soltanto quando si tratta dell'equilibrio statico e non più quando entra in argomento l'equilibrio dinamico, perchè allora bisogna tener conto anche dell'inerzia del mobile.

Però, sempre per comodità, perchè sul disegno non si può far muovere l'areoplano, seguiteremo ancora, tutte le volte che avremo bisogno di conoscere la direzione del moto rispetto *all'aria ambiente*, a supporre fermo — per un istante — l'apparecchio e a far muovere l'aria, ed andiamo ora a stabilire le regole che bisogna tenere per eseguire questa operazione.

Se l'aria ambiente è ferma, il moto dell'aria relativa all'areoplano è di senso esattamente opposto al moto dell'appareccchio e ne ha la stessa velocità. Questo moto immaginario lo diciamo *vento dell'areoplano*, perchè sarebbe il vento percepito dall'aviatore quando non fosse dovuto a *nessuna altra causa*

Digitized by Google

all'infuori del moto dell'areoplano. È il vento che l'aviatore percepisce in aria ferma.

Quando invece anche l'aria si muove, allora l'aviatore percepisce un vento che non è più sempre esattamente opposto al moto dell'areoplano e risulta invece dalla composizione di due velocità, quella del vento *dell'areoplano* e quella del vento realmente esistente, che diremo *vento reale.*

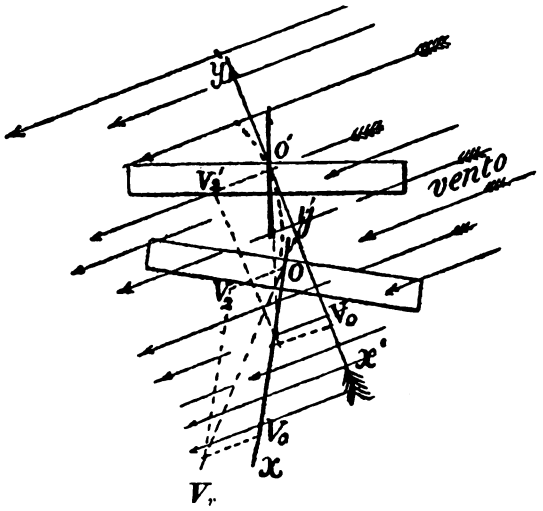


Fig. 25. — Vento e deriva.

Il vento *risultante* dalla composizione dei due qui sopra nominati, lo diremo, come già lo abbiamo detto, *vento relativo.* Questo è anche il vento che percepisce l'aviatore quando l'aria non è ferma.

La fig. 25 rappresenta il longitudinale di un areoplano in projezione orizzontale e xy da x verso y la direzione e senso del moto. Sia OV_0 il vento dell'areoplano, OV_2 il vento reale: sarà OV_r il vento relativo.

Digitized by Google

Esso non è contenuto nel piano di simmetria e perciò nemmeno le spinte alari le quali si portano sull'ala sopravento.

L' apparecchio alza quest'ala, descrive un po' di curva " derapando „ come abbiamo spiegato al § 23, e dopo alcune oscillazioni si ritrova in equilibrio, cioè in piano e sul filo del vento.

Sia, per esempio, in O' che ciò è avvenuto. In questa nuova posizione, il moto del centro di gravità si trova avvenire secondo la tangente alla trajettoria descritta, fino allora curvilinea, perchè fino a quell'istante l'apparecchio è stato sempre inclinato. Sia $x' y'$ la nuova direzione del moto. Il vento dell'areoplano sarà dunque $O'V'_0$ mentre il vento reale sarà $O'V'_2$ parallelo ad OV_2; componendo insieme le due, *se è vero che l'areoplano è sul filo del vento ed in equilibrio*, il vento relativo sarà sul piano di simmetria cioè in $O'x$ mentre il moto ha e conserva, in modo permanente, la direzione $x'y'$ perchè riesiste l'equilibrio.

Diremo angolo di deriva reale, l'angolo $V_0 OV_r$ che il vento relativo fa col piano di simmetria al manifestarsi della perturbazione, cioè all' origine del periodo che stiamo considerando. Ed è il vento obliquo che percepisce l' aviatore nel mentre che le persone a terra percepiscono solo il vento OV_2. Ed angolo di deriva apparente, l'angolo in O', che il moto fa con l'asse dell'areoplano alla fine del periodo ed è il moto di *deriva* che percepiscono le persone a terra quando invece ristabilitosi l'equilibrio, l'aviatore — se non guarda il suolo — sente sparita l'obliquità. Dunque l'aviatore percepisce la *deriva reale* nell' atto che questa si manifesta, ma non l' apparente se non confronta l'assetto dell'areoplano con la direzione del moto rispetto al suolo; mentre le persone a terra percepiscono la deriva apparente e non la reale. I due angoli deriva reale ad apparente sono press'a poco eguali, quasi sempre. Finalmente l'angolo di cui si trova girato su sè stesso l'apparecchio alla fine del periodo è la differenza dei due;

Digitized by Google

quello di cui ha girato la tangente alla trajettoria o, ciò che fa lo stesso, il vento dell'areoplano e quello di deriva reale.

Il mezzo di dimostrazione è forse un po' insolito, ma questo importa poco (fig. 26).

Descriviamo un circolo di raggio OV_0 e rappresenti il punto O il centro di gravità, OV_0 il vento dell'areoplano, V_0V_r il

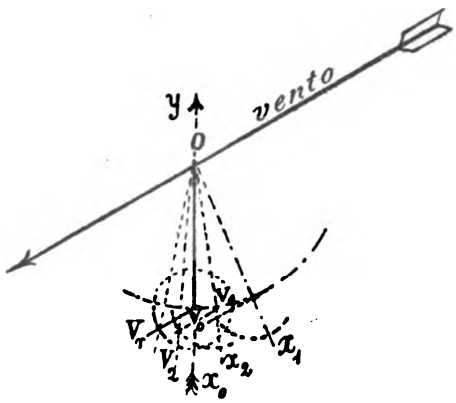


Fig. 26.

vento reale, OV_r il vento relativo. Facciamo ora girare la direzione del moto di un angolo qualunque, per es. 15°, cioè da OV_0, in Ox_1. Il nuovo vento relativo sarà Ox_2; e perchè sia ristabilito l'equilibrio trasversale sarà Ox_2 la nuova direzione del piano di simmetria, quando Ox_1 è la nuova direzione del moto.

Noi abbiamo fatto girare la tangente alla trajettoria di un valore arbitrario perchè non conosciamo l'angolo di cui essa realmente gira; ma quando troviamo essere Ox_2 la nuova posizione del piano di simmetria, diciamo subito che ciò è impossibile. Difatti, per tutto il periodo in esame, il

Digitized by Google

vento relativo è sempre obliquo dalla medesima parte e, sia per le spinte alari che per gl'impennaggi verticali, il piano di simmetria gira sempre in un sol senso, in modo cioè che l'apparecchio tende a presentare la fronte al vento, cioè *orza al vento* — come si dice in termine marinaro. Ora invece troviamo che ha girato in senso opposto e che ha *poggiato* (*),

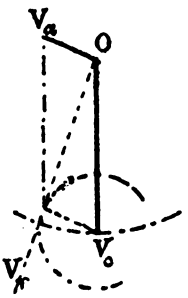


Fig. 27.

perciò siamo condotti a ripetere l'operazione per uno spostamento di VO minore di 15°, per esempio OV_2, per la quale troviamo una posizione d'equilibrio OV'_2 che indica che un po' ha girato il piano di simmetria in un senso, quello obbligatorio per gli impennaggi, e press'a poco di altrettanto ha girato la tangente in senso opposto, quello necessario per avvolgere la curva descritta. Dunque, l'angolo di cui gira l'areoplano su sè stesso è minore dell'angolo di deriva.

L'angolo di deriva reale varia con l'obliquità e l'intensità del vento reale ed è maggiore per i venti in favore del moto. Abbiamo già stabilito al § 21 che la massima velocità che daremo al vento reale è $^1/_3$ di quella dell'areoplano.

(*) In termine marinaro si dice che una nave a vela *orza*, quando gira la prua verso il punto d'onde il vento viene; mentre si dice che *poggia*, quando la nave cede al vento, girando la prua verso il punto verso il quale il vento *va*.

Digitized by Google

Se dunque (fig. 27) OV_0 rappresenta la velocità di un areoplano, e il raggio del circolo descritto ad un estremo e il terzo di OV_0, l'angolo massimo di deriva sarà quello che si ottiene conducendo una tangente al circolo per il punto O, e corrisponde al vento OV_a in favore del moto: mentre lo stesso vento, ma contrario, avrebbe dato una deriva minore. Dunque, il massimo angolo di deriva orizzontale è quello il cui seno è $^1/_3$, cioè gradi 19° 20′, e per rimettersi in equilibrio con questo vento, l'areoplano dovrà girare su sè stesso di circa 10°, nel mentre che di altrettanto press'a poco gira la tangente alla trajettoria. Il tempo che l'areoplano impiega a girare su sè stesso di 10°, dipende dal suo momento d'inerzia intorno all'asse attuale di rotazione e dalla estensione e posizione dei suoi impennaggi. Ma quello che si guadagna da una parte si perde dall'altra, perchè deve sempre l'apparecchio finire per far fronte al nuovo vento relativo, e se gira molto l'apparecchio, gira poco la tangente alla trajettoria e viceversa.

§ 29. **I gauchissements** ! (*)

Così sono chiamate altre ali sussidiarie o timoni, detti *alettoni*, situate alle estremità delle ali principali, i quali possono essere manovrati dal pilota. Oppure un sistema di tiranti e carrucole per il quale si deformano le estremità delle ali principali, al fine di farle incidere più o meno. Con questi provvedimenti intende il costruttore di mettere il pilota in

(*) Il *gauchissement* fa la parte, nell'areoplano, che il manubrio fa nella bicicletta; e come i dilettanti di ciclismo s'interessano vivamente alla forma del *manubrio*, così i dilettanti d'aviazione s'appassionano vivamente per i *gauchissements*, che sono il tema favorito delle loro discussioni.

Digitized by Google

possesso di un mezzo atto a riportare in piano l'apparecchio quando, per le perturbazioni atmosferiche, si inclina trasversalmente. Se noi aumentiamo l'incidenza a destra, intanto che la rimpiccioliamo a sinistra, per esempio, sia deformando le ali come manovrando gli *alettoni*, noi aumentiamo il potere portante a destra; e se l'apparecchio prima aveva alzata l'ala sinistra lo riportiamo in piano. Ma nel tempo stesso facciamo girare l'apparecchio di guisa che viene a presentare al vento l'ala sinistra e il vento obliquo **torna a rialzare l'ala sinistra.**

Invero, non possiamo produrre una forza portante mediante piani inclinati, senza accompagnarla colla relativa resistenza al moto, perchè entrambi sono componenti della stessa forza, la spinta alare.

Perciò, contemporaneamente all'uso dei *gauchissements*, è necessario far intervenire il timone, per compensare la facoltà giratoria dei primi.

I brevetti Wright si fondavano appunto sull'uso simultaneo di timone e gauchissements. Altri usano alettoni piani dei quali uno si fa incidere *positivamente*, quello dell'ala bassa, l'altro *negativamente*. Allora i due poteri rotatori si compensano e non occorre più l'intervento del timone (*); sono però di difficile piazzamento e raramente usati. Finalmente poi gli aviatori vanno persuadendosi che l'azione più pronta e sicura, per rimettere in piano un areoplano che s'inclina, è un colpo del timone verticale verso l'ala alta. Si affretta così l'*orzata al vento* e il ristabilimento dell'equilibrio, secondo quanto si è detto.

Tuttavia gli aviatori vogliono sempre ancora i gauchissements perchè, essi dicono che..... *non si sa mai!*

E questo è vero.

(*) Curtiss, preceduto da molti altri che si sono limitati a prendere un brevetto.

Digitized by Google

***

Abbiamo così veduto che l'apparecchio ristabilisce prontamente da sè l'equilibrio laterale — purchè conservi sempre incidenza e velocità, senza il soccorso di alcun provvedimento speciale. La facoltà di rimediare da sè agli squilibri laterali, quando si mantiene velocità ed incidenza, è così grande che non il ritornare in piano è difficile ma sibbene il mantenere l'inclinazione. Questo fa sì che la simmetria, che a tutta prima sembrava indispensabile, non ha bisogno di essere scrupolosa. Nessuno areoplano è scrupolosamente simmetrico, e indizio sicuro ne è la facile deformazione di tutte le parti; ma a questa dissimmetria accidentale se ne aggiunge un'altra voluta, quella del motore ad un asse solo. La coppia motrice non può essere equilibrata che con un'altra coppia che si otterrebbe spostando il peso lateralmente alle spinte alari. Nei primi tempi si aveva la precauzione, andata in disuso, di mettere un peso di piombo sull'estremità dell'ala che tendeva al alzarsi; ma se il motore s'arrestava in aria, il peso di piombo diventava a sua volta causa di dissimmetria. Era precauzione superflua, buona per i tempi in cui gli areoplani stentavano a volare per difetto di forza motrice: l'areoplano che mantiene incidenza e velocità, ritrova da sè il suo equilibrio, prendendo un moto di leggera deriva, le spinte alari si trasportano lateralmente e la coppia motrice è compensata; se il motore si ferma, torna sul filo del vento e tutto è accomodato.

E così dicasi per tutte le altre dissimmetrie. Anzi, in generale, il pilota non è che dal fatto che il suo apparecchio cammina di traverso che s'accorge che è " *scentrato* „ lateralmente. Sempre s'intende quando viene conservata incidenza e velocità. Perchè se la velocità fa difetto, tutti i prov-

Digitized by Google

vedimenti per l'equilibrio servono a ben poco. Vedremo più avanti che quando ad un apparecchio manca la velocità, esso la ritrova facendo una discesa. Ma nel frattempo tutte le azioni correttrici dell'equilibrio si indeboliscono. Basta ripetere i quadri dei diagrammi alari per velocità ridotte, per vederlo. Infine un'esperienza facile dimostra l'assoluta stabilità dell'equilibrio laterale quando è sicuro l'equilibrio longitudinale.

Si prenda un ala curva e la si faccia planare *con la sua concavità in alto.* Un'ala concava in alto è di equilibrio longitudinale sicurissimo.

Con poca pratica si riesce a trovare il contrappeso che bisogna mettere sul battente (una lamina metallica) per " *centrare* „ l'ala, che sarà generalmente un lungo rettangolo di cartoncino leggero, reso un po' curvo. È meglio dare un po' di V e mettere un po' d'impennaggio verticale. È impossibile fare che quest'ala *non plani.*

Si può " scentrare „ il peso di discreta quantità, far cadere l'ala per dritto o per traverso, scaraventarla in aria come si vuole, se c'è discesa sufficiente l'ala si rimette in piano e vola *planando.* Solo, se il peso è molto scentrato, *vira.*

§ 30. Impennaggi alti e impennaggi bassi. V dritto e V rovescio.

Da quanto precede, resta stabilito che il mantenimento dell'equilibrio laterale è conseguenza del fatto che le spinte alari si conservano prossimativamente sulla retta passante per il centro di figura, parallelamente alla direzione del moto, sia questo in deriva o no. Questa retta divide la superficie alare in parti sempre uguali e le spinte alari di ciascuna

Digitized by Google

metà dànno una risultante che passa per un suo punto. Ma se il moto obliquo *non producesse* questo fenomeno, le più piccole dissimmetrie di peso, superficie od incidenza, farebbero inevitabilmente rovesciare l'apparecchio, perchè nulla varrebbe a compensarle.

Le manovre del pilota, già abbastanza occupato altrove, non potrebbero avere la precisione e prontezza necessaria, e siccome le inclinazioni trasversali influiscono sull'incidenza longitudinale, sarebbe un traballamento spaventoso, e da un pezzo non si volerebbe più. Dunque non bisogna pensare a distruggere questa facoltà preziosa, ma piuttosto a favorirla, per quanto abbia per prima conseguenza di far inclinare l'apparecchio, ogni volta che il vento relativo s'obliqua. Sarebbe facile impedirlo: basterebbe mettere degli impennaggi verticali al di sotto del centro di gravità, perchè ogni vento obliquo producesse su di essi dei momenti trasversali contrari a quelli delle ali. Ma allora la deriva verso l'ala bassa sarebbe fatale e senza alcun dubbio verrebbe l'istante in cui si produce e l'apparecchio andrebbe inevitabilmente a terra di traverso "*per imbardata*„. E sono queste, sempre, le cadute che si verificano coi Wright in ispecie. E per questo Wright sentenziò essere " *les quilles* „ pericolose. L'apparecchio s'inclina trasversalmente e subito " derapa „. L'incidenza dalla parte dell'ala bassa s'annulla. Se il pilota o l'apparecchio " per sè „ ristabilisce l'incidenza, l'apparecchio torna in piano. Ma se vi sono degli impennaggi bassi, ciò può non avvenire e l'apparecchio precipita a terra di traverso.

Gli impennaggi alti aggiungono bensì la loro azione a quella delle spinte alari *scentrate*, ma senza grave pericolo, per le ragioni ampiamente discusse (§ 28). Per regola gli impennaggi devono avere il loro centro di pressione " *sulla direzione della propulsiva* „ (contenente il centro di gravità); ed a questo modo non intervengono nè prò nè contro, nella produzione delle inclinazioni trasversali, ma in ogni caso è

Digitized by Google

preferibile che siano sopra piuttosto che sotto. Per le medesime ragioni sono da escludersi i V rovescio delle ali, che fanno da impennaggio basso ed il V dritto è preferibile anche perchè esso facilita il ristabilirsi dell'equilibrio laterale.

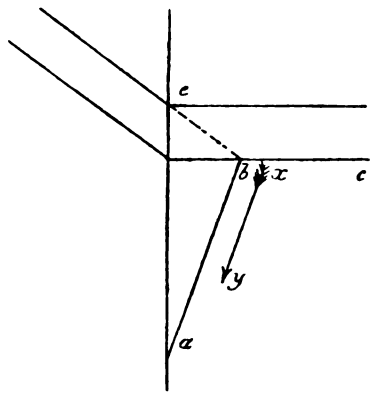


Fig. 28.

Infatti, riferiamoci alla fig. 28 ove sono rappresentate le tracce orizzontali dei piani alari, supposto che le due metà dell'ala formino un angolo diedro, con lo spigolo sul piano di simmetria. Troveremo che mentre *ab* è la traccia orizzontale dell'ala alta, la *bc* è la traccia dell'ala bassa e che perciò un moto obliquo *xy*, parallelo alla traccia dell'ala alta, fa angoli di incidenza zero con l'ala alta, mentre incide ancora con l'ala bassa. È un *gauchissement* naturale con i relativi inconvenienti. Ma se il pilota dà nel frattempo il colpo regolamentare di timone verso l'ala alta, il potere giratorio dell'ala bassa è compensato, e la maggior incidenza produce più rapidamente l'effetto di risollevare l'ala, di quando essa fosse stata tutta in un sol piano.

Digitized by Google

***

E con questo abbiamo terminato quanto avevamo a dire sull'equilibrio laterale. Chiudiamo, con poche cose che ci restano da dire sui viraggi.

La fig. 29 rappresenta il piano alare inclinato trasversalmente. In O è il centro di gravità al quale si trova applicata la gravità OG e la forza di sospensione OQ, quest'ultima, per l'equilibrio statico ristabilitosi, sul piano di simmetria. Le due, che nel volo orizzontale rettilineo si equilibravano perchè direttamente opposte ed eguali, ora dànno invece una risultante OC. La OC è la centripeta.

Infatti, il moto ritenuto orizzontale è normale al piano del disegno. Le due componenti della OC sono parallele al piano del disegno, dunque la OC è normale al moto — e la trajettoria s'incurva dalla parte dell'ala bassa, in un piano determinato dalle due rette rappresentanti l'una il moto preesistente l'altra la OC. Se la OC risulta orizzontale, la trajettoria è orizzontale, diversamente è un'elica a passo ascendente o discendente secondochè la OC passa sopra o sotto l'orizzontale del punto O. Infatti la OC è la sola forza risultante in giuoco, tutte le altre sono equilibrate; noi possiamo decomporla in due, una orizzontale, l'altra verticale (sono due centripete). La orizzontale fa descrivere al punto O una curva orizzontale, ma intanto la verticale lo fa discendere o montare (secondo il senso) e perciò la trajettoria è un'elica ascendente o discendente — dopo un breve periodo transitorio.

Supponiamo la OC orizzontale ed i l'inclinazione trasversale; si ha:

$$OQ = \frac{QC}{\cos i}; \text{ e poichè } QC = OG, \; OQ = \frac{G}{\cos i}.$$

Digitized by Google

Ora essendo cos i minore dell'unità, dovrà essere $OQ > G$.

Dunque è necessario che le spinte alari siano più forti durante il viraggio orizzontale, che non durante il moto rettilineo e perciò che sia aumentata o la velocità o l'incidenza, senza di che l'apparecchio scende.

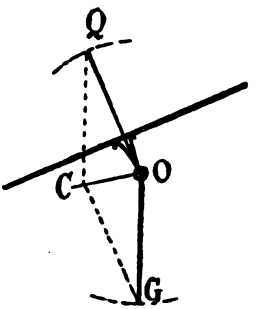


Fig. 29.

Il raggio della curva che l'apparecchio descrive è

$$\varrho = \frac{V^2}{\text{accelerazione centripeta}};$$

la centripeta è G tang i: dividendo questa per la massa $\frac{G}{g}$ (g accelerazione della gravità) avremo l'accelerazione centripeta $= g$ tang i e perciò

$$\varrho = \frac{V^2}{g \text{ tang } i}.$$

Il raggio è proporzionale al quadrato della velocità; per una velocità doppia il raggio d'evoluzione è quadruplo.

Facciamo un esempio numerico:

$$V = 15 \text{ metri } i = 20°; \text{ tang } i = 0.364$$

$$\varrho = \frac{225}{9.81 \times 0.364} = 63 \text{ metri.}$$

Digitized by Google

Un viraggio in diametro di 126^m è già discretamente stretto e basta un'inclinazione di 20° che è una delle medie.

Se la velocità raggiungesse i 30 metri (108 kilometri all'ora) ρ diventa quadruplo cioè 252 metri.

Vediamo quale inclinazione deve prendere un areoplano a soli 15 metri di velocità per virare in 252 metri.

$$\text{tang } i = \frac{V^2}{9.81 \times \rho} = \frac{225}{9.81 \times 252} = \frac{0.9}{9.81} = 0.09 = 5°.10.$$

La quale, come si vede, è abbastanza piccola. E con questo chiudiamo l'argomento, lasciando all'intelligente lettore di ricavare, da ciò che insieme abbiamo studiato, i molti corollari che ne derivano.

Altra digressione
forse più inutile della precedente.

E la forza centrifuga? Certo qualcuno lo dirà: avete dimenticato di tener conto della forza centrifuga.

Rispondo: Ma la forza centrifuga non c'è; non si è mai saputo che ci fosse una forza centrifuga. E se non mi credete prendete il vecchio GANOT, quello che i ragazzi dei miei tempi adoperavano nei loro primi studi di fisica e leggete:

" Mais tout en acceptant ce nom, parce qu'il est consacré par l'usage, " il faut bien remarquer que la *force centrifuge* n'est pas une force physique, " ayant un existence propre, mais simplement une force *fictive*, servant à " désigner comodément un effet de l'inertie des corps etc. „.

Perchè dunque volete che v'intrattenga di una forza che non c'è?

Noi chiamiamo forza centrifuga l'effetto che contrasta

Digitized by Google

l'azione della centripeta e l'equilibra, è la reazione dell'inerzia del mobile a cambiare la direzione del moto, ma l'azione che fa nascere codesta reazione è la centripeta, perchè è questa che produce la deviazione continua del moto e di questa reazione necessariamente eguale all'azione, noi ne teniamo sempre conto quando calcoliamo il raggio di curvatura; perchè non la forza determina questo raggio, ma bensì la accelerazione che essa può conferire al mobile — ciò che appunto vuol dire: tener conto di quella componente immaginaria — come tutte le componenti — che si dice la forza centrifuga. Vi sono dei casi in cui si tien conto della componente centrifuga; per esempio, quando il moto del mobile in esame *non proviene da forze ad esso direttamente applicate*, ma dal suo collegamento a un altro mobile, cioè quando il moto di una massa proviene dall'esser questa trascinata da un'altra massa, alla quale sono applicate le forze in giuoco.

Tale è il caso della massa periferica di un volante, per esempio, dove il movimento proviene dalla coppia motrice che agisce sull'asse, la quale niente ha che fare con le forze che invece determinerebbero il moto di una porzione della massa periferica se fosse libera nello spazio. Allora sì, può nascere il dubbio che la porzione di massa periferica preferisca a un dato momento fuggire dal suo posto, secondo la tangente, invece di seguitare a descrivere la sua circonferenza, e viene il bisogno di verificare " *se per caso* „ il collegamento non fosse inferiore al suo còmpito, che è quello di equilibrare con abbondanza — mai troppo abbondante — la centrifuga. Ma nel caso di corpo libero nello spazio, questo dubbio non può venire in nessun modo, perchè il corpo non può descrivere più *curva* di quel che gli fanno fare le forze ad esso applicate, e così non si parla mai di centrifuga, chè non potrebbe essere se non eguale alla centripeta!

Così almeno ragionano i dotti quando insegnano nelle scuole.

Digitized by Google

Quando invece insegnano, applicando la dottrina ai casi pratici, per esempio, ad un areoplano in viraggio, ah... allora è un altra cosa! Allora essi dicono:

" Quando la macchina entra in curva (?) interviene la forza centrifuga " e la resistenza dell'aria sui fianchi potrebbe dare origine ad una forza " antagonista centripeta, e la superficie laterale degli areoplani (proiezione) " può creare questa forza centripeta inclinando la macchina verso l'interno " della curva.....

" Se, l'inclinazione data dall'aviatore è troppo debole, l'areoplano è spinto " verso l'esterno della curva e viceversa, se è troppo forte..... (*)

" Se mentre l'apparecchio marcia in linea retta, lo si piega da una parte, " la spinta sostentatrice *p* cessa di essere verticale, e la sua componente " orizzontale *c* (la centripeta) ha per conseguenza di incurvare la trajet- " toria verso la sinistra.

" **Risulta subito una forza centrifuga** *dapprima più debole della c* (!!) " *e perciò la curvatura s'accentua.* Si stabilisce *una specie di equilibrio* (sic), " **quando il raggio della curva è tale** che la *forza centrifuga* **diventa** " **eguale** alla corrispondente orizzontale (centripeta) „.

***

E questa è la teoria **pratica**, riprodotta invariabilmente da tutti. *A tout seigneur, tout honneur.* Qualcuno anzi teme che non si capisca bene, e vi aggiunge:

" Si l'appareil restait horizontal, il serait chassé en dehors du virage " par la force centrifuge „.

E un altro:

" L'aéroplane ainsi dirigé tendra à acomplir un virage d'un certain " rayon, mais la *force centrifuge* lui imprimera un glissement latéral, qui " lui *fera* décrire la trajectoire que nous allons déterminer: soit *x* le " rayon, ect. „.

(*) È veramente troppo forte (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

***

Non c'è bisogno ch'io commenti; ma non posso astenermi dal far rilevare la grandezza sublime di codesti ragionamenti.

Il dire che un mobile libero, nel suo moto, sta sulla curva che può descrivere, o ne va dentro o fuori, secondochè la centripeta è uguale, maggiore o minore della centrifuga, equivale a dir questo:

" Se io applico una forza ad un mobile, questo tende a prender moto, " ma tosto interviene la forza d'inerzia. Se la forza che ho applicata al " mobile è maggiore della forza d'inerzia, il mobile va avanti, in caso " contrario, va indietro, e se la forza che ho applicato è eguale alla forza " d'inerzia....., oh! allora siamo a posto..... allora è quando finalmente sta " fermo! „.

Preciso!

***

Il Ganot dice che la forza centrifuga è una forza fittizia. Ma sono tutte fittizie, e la centrifuga, e la centripeta, e la tangenziale, e la risultante, tutto, assolutamente tutto è fittizio. Nel fenomeno che si considera, di non fittizio non c'è che il mobile e i vari agenti che **sono** in azione. Tutto il resto è concezione della nostra mente e non ha alcuna esistenza, nè materiale nè reale!

La meccanica c'insegna con quali artifizi noi possiamo sostituire alle forze reali ed agli effetti che esse producono, forze fittizie ed effetti fittizi equivalenti di più facile studio. Ma non bisogna dimenticare che quando noi sostituiamo ad una forza reale altre fittizie equivalenti, per riprodurre con

Digitized by Google

le fittizie l'effetto della forza reale, è necessario farle funzionare tutte ad un tempo o commettiamo errore... come quei signori che ad ogni piè sospinto fanno funzionare la componente centrifuga della forza d'inerzia, e sempre dimenticano la tangenziale!

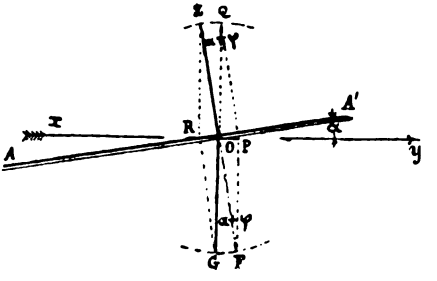
E se avrò la sorte di evitare a qualcuno quest'errore, la mia digressione non sarà poi... tanto inutile.

Digitized by Google

CAPITOLO XVI.

Volo nel piano verticale.

La fig. 9 rappresenta schematicamente un areoplano in volo orizzontale rettilineo e perciò in equilibrio assoluto relativo. Come abbiamo ricordato parecchie volte, la propulsiva OP,



Componenti della spinta alare.

composta con la gravità OG, dà una risultante OF, alla quale sta opposta la OZ, che a sua volta è la risultante di spinta alare e resistenze passive di tutto l'apparecchio. Queste ultime le riteniamo avere una risultante opposta direttamente alla OP, secondo il convenuto § 20.

Digitized by Google

***

Possiamo farci un'idea approssimativa del valore di tutte queste resistenze passive, le quali — ripetiamolo ancora — comprendono tutte le azioni che l'aria esercita sull'areoplano in volo, escluse solo quelle esercitate direttamente sulle ali *portanti*, partendo dai dati fornitici dalla pratica del volo.

Per una velocità di volo orizzontale di 15^m al $1''$ con incidenza di 6^o, la forza propulsiva è all'incirca 0,196 del peso dell'apparecchio, per quasi tutti gli areoplani e perciò se G è il peso, P la propulsiva, sarà:

$$P = 0{,}196\ G.$$

In conseguenza la sua opposta R (resistenza al moto) sarà anch'essa 0,196 G *quando esiste l'equilibrio assoluto*..

D'altra parte noi sappiamo che all'incidenza di 6^o, la spinta alare è 0,112 del peso che portano le ali (tab. III) e perciò nel volo orizzontale — per $\alpha = 6^o$ — la resistenza alare è $G \times 0{,}112$.

La differenza fra la resistenza totale al moto, e la sola resistenza alare, è appunto la resistenza passiva, perciò:

$$\text{resistenze passive} = 0{,}196\ G - 0{,}112\ G = 0{,}084\ G,$$

e finalmente poi

$$\frac{\text{resistenze passive}}{\text{resistenze totali}} = \frac{0.084\ G}{0.196\ G} = 0.38 \text{ circa},$$

d'onde concludiamo che le resistenze passive nel volo a 15^m velocità a 6^o, sarebbero il 38 % della resistenza totale, mentre il restante 62 % sarebbe impiegato nel volo.

Digitized by Google

***

Conosciute le condizioni di volo di un areoplano, per una data velocità ed incidenza, è facile arrivare alla conoscenza delle condizioni di volo per altra velocità ed incidenza, di qualsiasi areoplano il quale, all'incidenza di 6° e 15 m. velocità, richieda una spinta motrice = 0,196 G, che è poi quella di pressochè tutti gli areoplani che si conoscono oggi.

Vediamo come: noi sappiamo che la resistenza del fluido ad un solido — qualunque sia la sua forma — varia *praticamente* col quadrato della velocità. Dunque la spinta alare e con essa le sue componenti, e le resistenze passive, variano nel rapporto dei quadrati della velocità.

Quando cambiamo angolo di incidenza, le portate e le resistenze alari variano secondo una legge sperimentale data dalla tav. III (§ 16), mentre le passive variano solo dipendentemente dalla velocità.

Con questi dati e queste nozioni, ci sarà facile trovare le condizioni di equilibrio nei diversi casi.

***

Le quantità che entrano in conto nel calcolo di un areoplano sono: il suo peso G, la sua velocità V, la sua superficie S, la forza motrice N cavalli, oppure 75 N chilogrammetri.

Fra queste quantità corrono delle relazioni che ci sono note e che potremo subito scrivere.

Dalla tabella III noi abbiamo le portate e le resistenze alari ai diversi angoli di incidenza per superficie = 1 mq., a velocità

Digitized by Google

di un metro, e perciò sappiamo subito che il peso di G Kg., che porterà un areoplano qualunque — in volo orizzontale — alla velocità V metri, con una superficie S metri quadri ed una incidenza di α gradi, è

$$(1) \qquad G = SV^2 \times (\text{portata } \alpha).$$

Nella quale indichiamo così: (*portata* α) la portata unitaria indicata dalle tabelle per l'angolo il cui numero di gradi è α.

La spinta motrice disponibile si suppone conosciuta e il suo valore lo indichiamo con un numero di chilogrammi: P.

Questa deve essere eguale alla resistenza al moto, la quale è per la parte alare

$$\text{Resistenza alare} = G \text{ (rapporto } \alpha)$$

nella quale — *rapporto* α — indica il rapporto fra componente verticale e orizzontale per l'angolo di α gradi già notato nella tabella III (*).

Per la parte parassita dobbiamo riferircene ai risultati della pratica del volo e abbiamo visto qualmente, essendo essa in media 0.078 G alla velocità di 15 metri, alla velocità di 1 metro sarà:

$$\frac{0.078\ G}{225} = 0{,}00035\ G,$$

e perciò sarà alla velocità V:

$$\text{resistenze passive} = 0.00035\ GV^2.$$

(*) Al cap. VI abbiamo veduto che la resistenza alare è uguale alla forza di sospensione (la quale nel volo orizzontale è eguale al peso) moltiplicata per tang $(\alpha + \varphi)$. E che quest'ultimo è appunto (rapporto α).

Digitized by Google

Ed abbiamo così tutto quanto ci può occorrere, e possiamo subito scrivere per il volo orizzontale l'eguaglianza fra spinta motrice e resistenza al moto, scrivendo la somma di resistenze alari e resistenze passive così:

$$(2) \qquad P = G\,(\text{rapp. } \alpha) + 0.00035\,GV^2.$$

Finalmente poi, se moltiplichiamo per V i due termini di quest'eguaglianza, il prodotto PV rappresenta la quantità di forza motrice, espressa in chilogrametri, per il volo orizzontale alla velocità V ed incidenza α, ed avremo la

$$(3) \qquad PV = GV\,(\text{rapp. } \alpha) + 0.00035\,GV^3.$$

Dalla quale si vede che il valore della forza motrice, a parità di peso da trasportare e di incidenza, aumenta molto più rapidamente della velocità, contrariamente a quanto era nel voto e nelle previsioni di molti.

L'interesse nostro ci porta a diminuire, per quanto è possibile, il dispendio di forza motrice, e questo risultato noi possiamo raggiungerlo in tre modi:

1° Diminuendo la velocità: dalla (1) si ricava:

$$(4) \qquad V = \sqrt{\frac{G}{S \times \text{portata } \alpha}}.$$

Noi vediamo che la velocità dipende dal rapporto $\frac{G}{S}$ cioè dal carico che la superficie porta per ogni metro quadro — ciò che del resto è evidente *a priori* — e diminuisce con la radice quadrata di questo carico unitario; quindi per diminuire la velocità — a parità di peso — si deve aumentare la superficie. Ma la diminuzione di velocità non è mai il modo prescelto, perchè si sottrarrebbe al volo uno dei suoi princi-

Digitized by Google

pali pregi, quello di esercitare senza inconvenienti le grandissime velocità. E perciò questo primo modo non serve.

2° Diminuendo le resistenze, le quali sono di due sorta, alari e passive; le alari nella (3) si vedono dipendere da (rapporto α) e scorrendo la tabella III, troviamo che il minimo valore di (rapporto α) corrisponde all'angolo zero, per certe ali, e ad angoli che sembrano essere nelle prossimità di 4° per altre ali — che in ogni caso diminuisce con l'angolo di incidenza. Questo modo serve; dunque il volo sarà praticato ad incidenze piccole, per quanto possibile.

3° Diminuire le resistenze passive. Questo è certamente il modo più efficace. Sono le passive che assorbono la maggiore parte di forza motrice *alle grandi velocità*, ed è principalmente dalla loro riduzione che si può sperare di raggiungere velocità grandissime, senza eccessivo dispendio di forza motrice, chè dalla diminuzione di (rapp. α) c'è poco vantaggio da aspettarsi, quando insieme diminuisce (*portata* α).

***

Una volta stabilita la velocità che ci proponiamo di raggiungere e l'angolo di incidenza minimo al quale vogliamo raggiungerla, la (1) ci dà il carico per metro quadro così:

$$\frac{G}{S} = V^2 \text{ (portata } \alpha\text{)}. \tag{5}$$

D'altra parte la (2) ci dà, ponendovi a luogo di V^2 il valore proveniente dalla (4), cioè:

$$V^2 = \frac{G}{S \text{ (portata } \alpha\text{)}}$$

Digitized by Google

$$(6) \qquad P = G\left(\text{rapp. } \alpha + 0.00035\,\frac{G}{S}\,\frac{1}{\text{portata } \alpha}\right).$$

Dalla quale argomentiamo: 1° che il rapporto fra le componenti non è la sola qualità dell'ala che decide del dispendio di forza motrice, ma che vi ha anche parte la facoltà portante; 2° che il peso è *magna pars* nella determinazione del dispendio di forza motrice; 3° che le resistenze passive sono in media

$$0.00035\,G\,\frac{G}{S}\cdot\frac{1}{(\text{portata } \alpha)},$$

e perciò sono: proporzionali direttamente al prodotto peso $\times$ per carico unitario, ed inversamente alla portata alare.

Ma su queste quantità noi non possiamo agire. Esse risultano determinate, dato il peso e la velocità.

Non ci resta altro modo fuor di quello di diminuire il coefficiente 0.00035, studiando meglio la composizione degli areoplani acciocchè scafo, attrezzamenti, ecc., presentino minor resistenza al moto. Ed è questa la sola soluzione razionale possibile.

Possiamo aver subito un'idea dell'importanza che rappresenta la forza assorbita dalle resistenze passive, nel dispendio di forza motrice; facendo il rapporto fra la resistenza alare e la passiva, avremo:

$$\frac{\text{resistenza passiva}}{\text{resistenza alare}} = \frac{GV^2 \cdot 0.00035}{G\,(\text{rapp. } \alpha)} = V^2\,\frac{0.00035}{(\text{rapp. } \alpha)};$$

scegliendo per rapporto fra le componenti quella di $^1/_{10}$, viene:

$$\frac{\text{resistenze passive}}{\text{resistenze alari}} = 0.0035\,V^2;$$

per 15^m di velocità si ha $0.0035 \times 225 = 0.787$; mentre per

Digitized by Google

30^m velocità risulta $0.0035 \times 900 = 3.15$. Cioè le passive sono nel primo caso l'80 % circa e nel secondo il 315 % della forza richiesta per il solo volo! (*).

***

Noi possiamo anche farci un concetto della forza motrice assorbita per il volo nei due casi, velocità 15 e 30 metri al 1", cioè chilometri 54 e 108 all'ora; supponendo nel primo caso essere 6° l'angolo di volo e zero nel secondo.

Dalle relazioni precedenti abbiamo per 15^m e 6°

Per la (5): $\frac{G}{S} = V^2$ (portata α), si ha:

Carico per m. q. $= 225 \times$ gr. $58 =$ Kgr. 13.05 (con ali Eifel);

Dalla (2) $P = G$ (rapp. α) $+ 0.00035\, G\, V^2$, si ha:

Spinta motrice $= 0.112\, G + 0.00035 \times 225\, G =$
$= G\,(0.112 + 0.078) = 0.190\, G$;

Chilogrametri forza assorbita $= 0.190\, G \times 15 = 2.85\, G$
„ „ in cavalli $= 2.85 \frac{G}{75}$.

Per un peso di 300 Kg. si avrebbe (spinta minima per solo volo orizzontale) circa 60 Kg. e forza motrice cavalli 11,40,

(*) Per quanto si insista nel ritenere che vi siano ali che a certi piccoli angoli, che bisognerebbe poi molto esattamente conservare in volo, dànno rapporti minori di $^1/_{10}$ fra le componenti della spinta alare, stimeremo prudente limitarci al 0,1 come minimo.

Digitized by Google

ai quali aggiungendo la forza perduta dal propulsore per regresso e resistenza alla rotazione, circa il 25 % (alle volte molto di più), si arriva a un totale di cavalli 14.15.

Con un propulsore ordinario che non rende più del 50 % per 300 Kg. di peso si dovrebbe avere cavalli 22.80.

E appunto nella pratica si trova questo; cioè che con un motore di circa 25 cavalli vola, a 15^m velocità, un Blériot del peso — tutto compreso — di poco più di 300 Kg. e gli resta ancora un po' d'eccesso di forza per le salite; mentre per un Farman stessa velocità, con 50 HP vola un peso doppio e fa le salite.

***

Vediamo per 30 m. velocità ed incidenza zero gradi.

Carico per m. q. $= 900 \times 33$ gr. $=$ Kgr. 29.7 (circa 30) con ali Eifel;

Spinta motrice in chilogrametri $= 0.1\ G + 0.00035 \times 900\ G =$
$= G\,(0.1 + 0.315) = 0.325\ G$;

Forza assorbita in chilogrametri $= 0.325 \times 30\ G = 9.75\ G$

$$\text{in cavalli} = 9.75\,\frac{G}{75};$$

Per un peso di Kg. 300, spinta motrice minima Kgr. 97.5;

Forza motrice assorbita HP 39; ai quali, aggiungendo le perdite minime del propulsore, diventano 52. Ma se il propulsore non rende che il 50 %, la forza fornita dal motore deve salire ad HP 78, per il solo volo orizzontale.

***

Sia un dato areoplano in volo orizzontale e facciamo variare la sua incidenza da zero a 15°, di 2 in 2 gradi e deter-

Digitized by Google

miniamo la forza motrice assorbita e la velocità ad ogni nuova incidenza.

La condizione del volo orizzontale è che il peso sia sempre eguale alla forza portante delle ali e perciò, qualunque sia α e V, dovrà essere

$$G = SV^2 \text{ (portata } \alpha\text{) d'onde: } \frac{G}{S}\,\text{(carico unitario)} = V^2 \text{ (port. } \alpha\text{).}$$

Per brevità, indichiamo con K il carico unitario $\frac{G}{S}$, e scriviamo $K = V^2$ (portata α) (*).

Da questa vediamo che, tenendo costante K, dovremo cambiare V ogni volta che cambia α. Infatti ci risulta:

$$(7) \qquad V = \sqrt{\frac{K}{\text{portata } \alpha}}.$$

E perciò la spinta motrice richiesta, che dalla (2) è

$$P = G\,(\text{rapp. } \alpha + 0{,}00035\ V^2),$$

diventa:

$$(8) \qquad P = G\left(\text{rapp. } \alpha + 0{,}00035\ \frac{K}{(\text{portata } \alpha)}\right).$$

Da quest'ultima vediamo chiaramente che la P varia ogni volta che si cambia incidenza; e che se dunque si vuol conservare il volo orizzontale a diverse incidenze è indispensabile poter agire sul motore per variarne la velocità.

Compilando un quadro dei diversi valori per i due casi di carico unitario, cioè per $K = 13^{kgr.},50$ e per $K = 30^{kgr.}$, secondo quello che risulta dalla (7) e dalla (8), viene:

(*) Per il calcolo numerico bisogna esprimere le portate in Kg.

Digitized by Google

Tabella XV (passive = 0,00035).

Incidenze	CARICO UNITARIO = 13,5		CARICO UNITARIO = 30	
	P K = 30	V	P K = 30	V
0°	0.244 G	20.22	0.418 G	29.97
2°	0.220 G	18.05	0.362 G	27.34
4°	0.202 G	16.43	0.318 G	24.50
6°	0.193 G	15.23	0.293 G	22.73
8°	0.192 G	14.4	0.281 G	21.45
10°	0.190 G	13.75	0.270 G	20.40
12°	0.227 G	—	0.308 G	20 —
15°	0.291 G	13.40	0.361 G	19.85

I valori rassegnati nella 2ª e nella 4ª colonna rappresentano, in chilogrammi, la spinta che dovrà sviluppare il propulsore per far volare — orizzontalmente — un dato peso G, corrispondente ad un certo angolo di incidenza α, dato dalla 1ª colonna. Così, per es., vediamo che per il carico unitario di Kg. 13,5 occorre una spinta propulsiva 0,193 G, per volare con incidenza di 6°. Mentre ne occorre una = 0,293 G per volare con la stessa incidenza, ma carico unitario di Kg. 30.

Se noi dividiamo tutti codesti valori per G, la 2ª e la 4ª colonna si riducono alle sole cifre e rappresentano i successivi valori del rapporto $\frac{P}{G}$ alle diverse incidenze.

Codesto rapporto $\frac{P}{G}$ fra la spinta motrice P ed il peso G, è il rapporto fra **le componenti dell'areoplano** tal quale come (rapp. α) era il rapporto fra le componenti alari.

Il rapporto fra le componenti alari ci dava la *pendenza* della OZ cioè la tang. $(\alpha + \varphi)$ (vedi tab. III) quando si trascuravano le resistenze passive. Il rapporto $\frac{P}{G}$ ci dà la pendenza della OZ quando si tiene conto delle resistenze passive. E fra poco lo vedremo meglio.

Digitized by Google

***

Dal quadro ora esposto si rileva che un areoplano ha generalmente due velocità di volo orizzontale per il massimo sviluppo della sua forza motrice, una ai grandi angoli di volo 12°-15°, l'altra ai minimi 4 e zero. Per la prima sono le resistenze alari — G rapporto α — che sono grandi; per la seconda sono le resistenze parassite 0.00035 V^2; talchè la somma racchiusa fra la parentesi nell'espressione della P, ha due valori eguali, per due angoli differenti. Per i valori intermedi la forza motrice sopravanza ed è a disposizione per le salite, come vedremo.

Dal medesimo quadro appare che la minor spinta motrice richiesta, corrisponde al volo a 10°, nel nostro caso. Ma se noi diminuiamo le resistenze passive non sarà più così, perchè se si riduce la spinta motrice alla sola G $\times$ (rapporto α) sarebbe minore a zero gradi.

Il minimo valore possibile per le resistenze passive mi risulta, da un *progetto* fatto, essere di 0.00012 G. Rifacendo il quadro per questo caso riesce:

Tabella XVI (passive = 0,00012 V^2)

Incidenza	CARICO UNITARIO = Kgr. 80		CARICO UNITARIO = Kgr. 18,50	
	$\frac{P}{G}$ = tang φ	V metri	$\frac{P}{G}$ = tang φ	V metri
0°	0.211	30	0.151	20.2
2°	0.192	27.4	0.142	18.05
4°	0.175	24.5	0.137	16.40
6°	0.174	22.73	0.140	15.20
8°	0.174	21.45	0.144	14.40
10°	0.176	20.40	0.148	13.75
12°	0.200	20	0.188	13.54
15°	0.277	19.85	0.251	13.40

Digitized by Google

Dal quale si vede che vi sono più di due coppie di valori di α, per i quali può avvenire il volo orizzontale — e che in questo secondo caso l'angolo più conveniente di volo — se si dovesse pensare all'economia di combustibile — cosa invece alla quale non si pensa affatto — sarebbe quello di 6°; che in ogni caso con una forza non superiore ai 30 HP, si possono raggiungere grandissime velocità, oltre 112 chilom. Ciò che può ritenersi sufficente in tutti i casi — meno che per la *réclame.*

Supposto, 2 areoplani di stesso peso e del tipo $K = 13.50$ l'uno e $K = 30$ l'altro, caricati col massimo di combustibile che ciascuno può portare, quale dei due compirà il massimo percorso alla massima velocità che può assumere?

Riprendiamo ancora una volta le relazioni or ora trovate:

La velocità massima è $V = \sqrt{\frac{K}{0.033}}$ (per $\alpha =$ zero) e lo spazio percorso sarà $Vt = t\sqrt{\frac{K}{0.033}}$.

Indicando con HP il numero dei cavalli necessari e sapendo che ciascun cavallo consuma 350 gr. di benzina all'ora, sarà:

$$\text{consumo orario} = HP \times 0.350$$

e il tempo (*) che una data provvista — di chilogrammi B — di benzina può durare: $t = \frac{B}{0.35\ HP} \times 3600$ (a).

Ma d'altra parte $HP = PV\left(1 + \frac{1}{3}\right) =$ (**) $PV.\ 1{,}33$ e perciò

$$t = \frac{B \times 3600}{0{,}35.\ PV.\ 1{,}33}$$

$$tV = \frac{B\ 3600}{0.35 \times 1.33\ P} = \frac{B}{P}\ 2.16 \times 3600.$$

Finalmente mettendo per P il valore dato dalla (8, pag. 176) riesce:

(*) In minuti secondi.

(**) Si suppone $\frac{1}{3}$ essere il regresso dell'elice.

Digitized by Google

$$\text{spazio percorso} = \frac{B}{G\left(0.105 + \frac{0.00012\,K}{0.033}\right)} 2.16 \times 3600.$$

E si vede — K trovandosi al denominatore — che lo spazio maggiore senza rifornimento viene percorso dall'apparecchio a minor velocità. Più semplicemente scrivendo

$$\text{Percorso} = \frac{B}{P} 2.16 \times 3600$$

per il caso contemplato nel quadro XV, gli spazi starebbero fra di loro, come 24 : 42 circa; o cioè: per ogni 240 chil. fatti dal più veloce, il meno veloce ne potrebbe fare 420 (*). Se si trattasse di un percorso molto lungo, il meno veloce lo fa in una sola tirata, e intanto che il più veloce si rifornisce, l'altro lo sorpassa e lo batte nel percorso e nel tempo, se il rifornimento con la conseguente fermata e ripresa richiede più di un'ora e mezza. Sono esclusi, ben s'intende, i casi nei quali si prendono provvedimenti speciali per l'immediato rifornimento. Ma questi sono casi limitati alle gare, e non concludono niente per la applicazione ai casi ordinari.

Finalmente poi dal quadro XV vediamo che la *minima* velocità del volo ha per determinante il carico per mq. (K). È di 13.^{m} 75 in un caso e di 20.^{m} 40 nell'altro; che perciò l'un tipo potrà prendere terra a 50 chilometri, velocità ora, e l'altro a 73 circa.

E perciò nel caso di *scesa a terra* in terreno accidentato, in onta a tutte le cautele ed artifizi, l'apparecchio a grande velocità, non si trova nelle condizioni migliori.

Ciò non ostante bisogna convenire che l'attrattiva maggiore del volo sta — almeno per molti — nella grandissima velocità e che ben pochi si curano del resto e che perciò saranno preferiti i carichi unitari grandi.

(*) Si ammette uguaglianza del peso totale e perciò anche di provvista di combustibile.

Digitized by Google

CAPITOLO XVII.

Volo. — Evoluzioni verticali.

Il rapporto fra spinta motrice P (nel volo orizzontale) ed il peso G, è *la tangente dell'angolo che la risultante* di tutte le azioni del fluido sull'apparecchio cioè la OZ *fa con la verticale.*

Infatti noi sappiamo già che questa risultante è — *nel volo orizzontale* — eguale e direttamente opposta alla OF (fig. 9) e che perciò è:

$$\text{ang. ZOQ} = \text{ang. FOG}$$

e d'altra parte è:

$$\text{tang. angolo FOG} = \frac{P}{G}.$$

Dunque i numeri della 2ª e 4ª colonna del quadro XV dànno i valori delle tangenti degli angoli che la OZ fa con la normale, corrispondenti a ciascun'incidenza, e da quelli noi possiamo conoscere l'angolo φ che fa la OZ con **la normale alla trajettoria** per ogni valore di α. Quest'angolo φ varia dunque continuamente, quando si cambia la velocità del volo orizzontale (*); ma non così quando si mantiene costante l'assetto longitudinale — cioè l'incidenza — e la velocità cambia per altre circostanze, per esempio, aumento o diminuzione di forza propulsiva, o per turbamenti atmosferici.

(*) Ad ogni singola velocità di volo *orizzontale,* corrisponde un dato angolo di incidenza.

Digitized by Google

Allora cambia solo **la direzione del moto nel piano verticale**. Invero:

Dappoichè dalla tabella ci è noto l'angolo φ che la OZ fa con la normale alla trajettoria, noi potremo sempre decomporla in due forze, una secondo la normale e l'altra secondo una parallela alla trajettoria, cioè: potremo sempre decomporre la OZ in *centripeta* e *tangenziale*, ed avere in ogni istante " *le condizioni* „ determinanti la trajettoria medesima.

Nel volo orizzontale la centripeta, della **OZ** è la forza di sospensione OQ (fig. 9), la quale **deve** risultare eguale al peso OG — *se il volo è orizzontale* — mentre la tangenziale della **OZ** è la OR che **deve** risultare eguale alla propulsiva OP. Ma se, per aumento o diminuzione della propulsiva OP, o se, per turbamenti atmosferici, o per altre cause che vedremo, varia il valore della OZ, senza che varî l'incidenza — e perciò senza che tang φ cambi — allora non è più vero che la OQ risulta eguale alla sua opposta OG, nè che la OR resti eguale alla sua opposta OP. Allora entrano in giuoco una tangenziale ed una centripeta che alterano l'equilibrio dinamico, ed il volo diventa — **curvilineo** — nel piano verticale. Ancora:

Siccome noi ammettiamo che l'apparecchio si mantenga ad incidenza fissa con la trajettoria, e trascuriamo le piccole variazioni indotte dall'azione dei momenti correttori, così noi vediamo l'areoplano presentare sulla linea del moto una *forma invariabile*, e perciò dobbiamo ritenere che, salvo le variazioni nel valore della resistenza totale (*proporzionalmente al quadrato della velocità*), nulla cambia nella direzione e posizione di questa resistenza e che perciò φ è costante.

Se dunque noi partiamo dalla conoscenza del valore delle componenti orizzontali e verticali della reazione totale del fluido al moto dell'apparecchio **per il volo orizzontale**, noi conosciamo il valore di queste componenti per qualsiasi altra condizione di volo, quando ci sia nota la velocità e l'incidenza.

Digitized by Google

***

Abbiamo detto che, comunque avvenga il volo, noi riteniamo sempre l'incidenza invariabile, se non la cambia il pilota; ma nella realtà questo non può ritenersi che un press'a poco. Così pure riterremo che la propulsiva sia *sempre* tangente alla trajettoria. Questo, nello stesso volo orizzontale, non può essere vero che per *una data* incidenza, per esempio 6°. Per ottenere un'altra incidenza è pur necessario variare l'orientazione e ne conseguirà che non sarà più orizzontale la propulsiva, nè verticale la componente ad essa normale. Tuttavia, stante la piccolezza delle variazioni — al più 6° per parte — possiamo trascurare queste considerazioni.

Invero il coefficente di correzione sarebbe il coseno di 6° e

$$\cos 6^\circ = 0.9945$$

talmente prossimo all'unità, che sarebbe spingere lo scrupolo troppo oltre, noi che, per molte ragioni, non possiamo essere scrupolosi in niente di ciò che riguarda l'aviazione.

Dunque: la componente normale alla trajettoria (centripeta) e quella diretta secondo la trajettoria (tangenziale), finchè si conserva l'incidenza, sono sempre quelle medesime del volo orizzontale, cioè la verticale e l'orizzontale della fig. 9, ed esse non variano se non dipendentemente dalla velocità, ed il loro valore è in ogni istante il prodotto di quelle medesime moltiplicate per il rapporto $\frac{V^2}{V_0^2}$, del quadrato della velocità, V che l'apparecchio ha all'atto della considerazione, al quadrato della velocità V_0, ***che dovrebbe avere per volare orizzontalmente, con quella data incidenza che gli supponiamo.***

Digitized by Google

In altre parole: Se noi trascuriamo di tener conto del fatto che ogni volta che si cambia l'incidenza si cambia anche l'angolo che la spinta motrice fa con la direzione del moto, e riteniamo invece essere questa spinta — *sempre nella direzione del moto* — qualunque sia l'incidenza — e se noi riteniamo che l'areoplano sia talmente stabile di equilibrio longitudinale che, una volta che il pilota ha stabilito l'angolo d'incidenza col quale vuol volare, l'apparecchio lo conserva — praticamente — invariato, ne consegue che:

Comunque avvenga il volo — nel piano verticale — la OZ (azione totale dell'aria sull'areoplano in volo) fa con la normale alla propulsiva — o alla traiettoria — sempre un certo angolo φ che ci è conosciuto per mezzo della tabella XV (se noi conosciamo α, l'incidenza attuale). E quanto al valore della OZ — o meglio delle sue componenti tangenziale e centripeta — esso non può essere che il medesimo di quello delle componenti tangenziali e centripete del volo orizzontale (per quel dato angolo α) moltiplicato per il rapporto $\frac{V^2}{V_0{}^2}$; ove V è la velocità " *attuale* „; e V_0 è la velocità del volo orizzontale corrispondente a quel tal valore di α col quale si suppone avvenire il volo attuale.

Noi andiamo a vedere come possiamo farci un'idea del modo di comportarsi dell'areoplano, nei diversi casi.

***

Premesse. — Lo studio delle evoluzioni verticali non è possibile — almeno a me — col metodo classico e per quanto il metodo che impiego riesca lungo ed addimandi molta pazienza, non ho di meglio da presentare.

La legge secondo la quale varia, in funzione del tempo, la velocità di un mobile la cui resistenza al volo è proporzio-

Digitized by Google

nale al quadrato della velocità si ricava dal calcolo ed è nota; ma nel caso in cui un areoplano descrive, nel piano verticale, una trajettoria curvilinea, la resistenza al moto si complica con la componente della gravità, per conoscere la quale è necessario aver cognizioni di elementi della trajettoria anch'essi funzione del tempo.

I miei tentativi di soluzione mi hanno condotto a complicazioni tali che rifuggo dal darne conto e preferisco dare una soluzione meno esatta ma più persuasiva. Ho notato infatti che le conclusioni che vengono in seguito a determinazioni numeriche fatte con calcoli complicati — che quasi nessuno segue — sono accettate, solo per evitare la pena di discuterle! Perciò preferisco procedere in modo che permetta al lettore di seguirmi. Divido cioè il tempo in brevi periodi, per esempio, $^1/_2$ secondo ciascuno, e, sempre per amor di brevità, nei calcoli numerici considero l'accelerazione costante in questo periodo, con la sola avvertenza di prendere per velocità e per inclinazione della trajettoria, del periodo, la media fra quella con la quale il periodo comincia e quella con cui finisce.

E così, di mezzo in mezzo secondo, costruisco la trajettoria. È un metodo lunghissimo e che non dà che una *specie* di esattezza — ma è sufficiente per formare dei criteri esatti. Ciascuna trajettoria determinata addimanda parecchie ore di applicazione consecutiva ed il calcolo sarebbe dieci volte più speditivo.

Ma le molte ipotesi restrittive che sarei costretto d' introdurre, oltre a quelle che già ho introdotto, farebbero i risultati ancora meno persuasivi, perciò mi tengo a quanto sopra ho indicato.

***

In generale, le soluzioni dei problemi relativi ai diversi casi di volo *non* orizzontale, si limitano alla ricerca della nuova

Digitized by Google

condizione del moto, quando l'equilibrio si è già ristabilito; senza considerare nè ciò che avviene nel periodo transitorio che intercede fra la rottura e il ristabilimento dell'equilibrio stesso, nè la durata di questo periodo. Noi non faremo così per la semplice ragione che il periodo transitorio è lunghissimo e ciò che avviene in questo periodo è tutt'altro che facilmente prevedibile e trascurabile.

Per esempio: nel caso di discesa a motore spento o no, come nel caso di ascesa aumentando l'impulso motore o l'angolo d'incidenza, la trajettoria che si considera essere orizzontale all'origine, non si raccorda con la trajettoria inclinata che la segue, mediante un semplice arco di breve percorso. Ben altrimenti avviene: l'areoplano invece serpeggia per lunghissimo tratto, passando ora sopra ora sotto la trajettoria rettilinea, che si può ottenere supponendo già ristabilito l'equilibrio dinamico, e che diremo di **regime**; e questi serpeggiamenti, a rigor di termine, non cessano mai, ma vanno solo via via diventando meno accentuati, fino a che, dopo un tempo sempre lungo, parecchie decine di secondi e dopo un percorso sempre grande, parecchie centinaia di metri, si può considerare essere la trajettoria quella del *regime*, cioè *rettilinea* con *moto uniforme*. Come si capisce — in generale — la parte di trajettoria che può compiere un areoplano che scende o monta sarà il più delle volte quella del periodo transitorio e non quella del regime e perciò è importante il determinarla.

Il fenomeno del serpeggiamento intorno alla linea d'equilibrio è analogo alle oscillazioni di tutti i sistemi che hanno una sola posizione d'equilibrio. Ed è dovuto al fatto che non è possibile in nessun modo realizzare contemporaneamente due condizioni distinte.

Quando una è realizzata, l'altra non lo è mai **e non lo può essere** sotto pena d'assurdo, per ragioni superiori.

Quando noi scartiamo un pendolo dalla verticale e poi lo lasciamo libero, esso torna alla sua posizione d'equilibrio che

Digitized by Google

è la verticale, ma l'istante in cui vi arriva è precisamente quello che corrisponde alla massima velocità della massa del pendolo, e perciò questo non può arrestarvisi e passa dall'altra parte. Ed è impossibile che il pendolo — libero — arrivi sulla verticale a velocità spenta.

Qui è l'inerzia che è in giuoco. Così non è esattamente nel caso dell'areoplano. Ma anche nell'areoplano sono due le condizioni d'equilibrio da realizzare come nel pendolo: devono essere nulle le accelerazioni sia tangenziali che centripete e non lo sono mai contemporaneamente; quando è nulla l'una, **è massima l'altra** — come nel pendolo — quando è zero l'angolo con la verticale è massima la velocità e viceversa. E se noi vediamo spegnersi le oscillazioni del pendolo per la resistenza opposta al suo moto, altrettanto vedremo avvenire per l'areoplano, per il quale, l'allungamento del percorso, prodotto dai serpeggiamenti, costituisce la resistenza che spegne gradualmente le oscillazioni.

***

Abbiamo detto (Cap. XVI) che un areoplano ha sempre due velocità di volo al suo massimo di forza disponibile. Sembra a prima giunta che questo massimo debba essere arbitrario: ma invece non lo è. Quando noi in un dato tipo abbiamo stabilito il massimo carico unitario ed il minimo angolo d'incidenza che conviene alla sicurezza dell'apparecchio, la forza motrice massima è determinata in rapporto al peso. Noi possiamo, è vero, metterne di più, ma è il pilota che non potrà farne uso. Infatti, l'apparecchio assumendo una velocità superiore alla massima del volo orizzontale previsto, *monta* anche col minimo angolo di incidenza.

Questo sarebbe un inconveniente piccolo per un certo tratto, ma non si possono fare parecchie centinaia di kilometri

Digitized by Google

sempre montando! Arriverà invero il momento in cui l'apparecchio non potrà più *montare* per l'aria rarefatta, e il volo diverrà finalmente orizzontale; ma ciò succederà appunto allora quando il motore non darà più quella forza in eccesso che noi invece ci eravamo proposti di fargli utilizzare, per l'aumento di velocità, e la velocità di questo nuovo volo orizzontale sarà ancora quella che avrebbe assunto a un livello inferiore; difatti: Il rapporto fra spinta motrice e resistenza al volo orizzontale non varia mai, qualunque sia la densità del fluido, perchè è il medesimo fluido che serve al propulsore per spingere e all'apparecchio per resistere. Ho già dimostrato (FACCIOLI, *Teoria del volo*) fin da 17 anni fa questa proposizione. Varia solo la velocità del mobile se non varia la coppia motrice del propulsore. Ma se la coppia motrice cambia anch'essa proporzionalmente alla densità del fluido, come avviene in un motore a benzina, la velocità resta inalterata.

Perchè non avvenga che l'apparecchio monti, il pilota può diminuire la velocità del motore; ma, si prenda una via o l'altra, la conclusione è una sola, *tutta la forza in eccesso* non è utilizzabile nel volo orizzontale, se non fino al limite dell'incidenza minima. Questa incidenza minima è zero per le ali che per dar loro un nome abbiamo chiamate Eifel, è invece circa 3° per le Maxim; al disotto di questi valori, la resistenza alare torna a crescere ed è perciò inutile — oltrechè pericoloso — diminuire ancora.

Le vie dell'aria essendo perfettamente libere, gli areoplani vanno sempre al massimo di forza motrice disponibile. Questo massimo di cui intendiamo parlare è quello sopra definito, il quale corrisponde al volo orizzontale *con incidenza minima.*

Riferendoci ancora una volta alla tab. XV e XVI e notando attentamente che, la massima velocità corrisponde all'incidenza *minima* ed all'impiego della *massima* spinta motrice disponibile, e che questo equivale a dire che all'inci-

Digitized by Google

denza *minima* corrisponde il *massimo* valore di *tang* φ e viceversa, ne concluderemo che è **nell'arbitrio del pilota** — variando l'incidenza — di aumentare o diminuire la quantità di forza motrice assorbita, per il volo **attuale**.

***

Avverrà dunque che se in un areoplano in volo orizzontale, al massimo di velocità, il pilota aumenta l'incidenza, l'areoplano monterà in modo permanente, perchè tang φ sarà diminuito in modo permanente e quando il pilota vorrà ridiscendere non avrà che da diminuire α e con esso aumentare tang φ. Analogamente avviene se il pilota aumenta o diminuisce la spinta motrice, facendo variare la velocità di rotazione del motore. E finalmente se nessuna variazione è indotta nè nella forma, nè nella forza motrice dell'apparecchio, questo deve conservarsi in volo orizzontale (*).

Prima però di affrontare la soluzione del volo variabile, vediamo ancora poche cose che ci restano a dire sul volo con moto uniforme.

§ 31. **Volo ascendente al regime.**

Sia un areoplano in volo lungo una trajettoria rettilinea ascendente xy (fig. 30), che fa l'angolo β con l'orizzonte. La normale alla xy, come la G'OQ, farà l'angolo β con la verticale. Sia V_0 la velocità, α_0 l'incidenza; e sia $m_0 = \text{tang}\,\varphi_0$ la

(*) L'atto di diminuire l'incidenza o quello di aumentare la spinta motrice si equivalgono nel senso di rendere, sia nell'un caso che nell'altro, la spinta motrice *superiore alla resistenza al volo* e viceversa.

Digitized by Google

tangente dell'angolo che la OZ fa con la normale alla propulsiva.

Perchè sussista l'equilibrio dovrà essere la forza di sospensione OQ′ (risultante di spinta propulsiva OP e spinta alare OZ, § 18) uguale al peso OG; per cui $OQ^1 = OG$.

Ammessa questa condizione, ne risulta immediatamente che la OP è uguale alla somma di due tangenziali, quella della OZ, più quella della gravità.

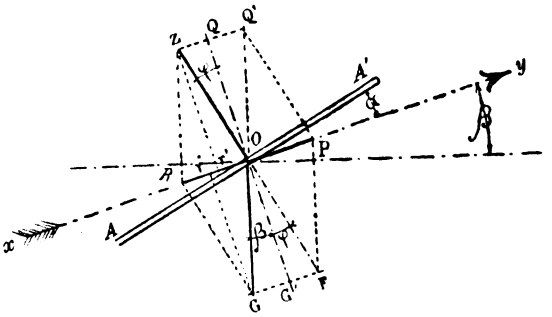


Fig. 30.

Infatti, componendo la OZ con la OG si ha la

$$OR = ZQ' = OP.$$

Ma se d'altra parte noi projettiamo la OG sulla xy con una parallela alla G′OQ, abbiamo $Or'' = G \operatorname{sen} \beta$: che è la componente tangenziale della gravità, mentre la restante $r''R$ è appunto la componente tangenziale della OZ; perchè $r''R = r'O$ per l'eguaglianza dei triangoli $r''GR = r'ZO$ ed è appunto $r'O = OZ \operatorname{sen} \varphi_0$, cioè alla componente tangenziale della resistenza del fluido; e poichè è

$$r'O = ZQ = QO \operatorname{tang} \varphi_0$$

Digitized by Google

ed è $$QO = G \cos \beta$$

sarà: $$r'O = G \cos \beta \operatorname{tang} \varphi_0$$

ed $$RO = G \cos \beta \operatorname{tang} \varphi_0 + G \operatorname{sen} \beta.$$

Dunque nel volo ascendente al regime, la resistenza al moto — e perciò la forza propulsiva — è uguale alla somma di tangenziale del fluido + tang gravità.

Ne consegue immediatamente — ciò che era prevedibile — che il lavoro motore s'accresce di tutta la quantità di cui si eleva il peso. Infatti ii peso s'eleva nell'unità di tempo di V sen β, e il lavoro accumulato sotto forma di aumento di potenziale è GV sen β; la maggior resistenza al moto prodotto dalla salita è: G sen β, ed il lavoro che assorbe nell'unità di tempo è appunto GV sen β.

Analogamente dicasi per il volo discendente: la resistenza al moto diminuisce della tangenziale — questa volta positiva — della gravità, ed il lavoro motore di tutta la quantità di cui il peso discende.

Quanto alla velocità sulla trajettoria essa è minore di quella del volo orizzontale.

Infatti: la centripeta negativa è la $OG' = OG \cos \beta$; la sua opposta positiva, OQ, gli è uguale se $OQ' = OG$ e perciò è minore della centripeta positiva del volo orizzontale che deve sempre essere = G. La cosa era prevedibile; la forza di propulsione, nel volo ascendente, dà anch'essa una componente verticale positiva; o in altre parole: la spinta del propulsore *aiuta* a sostenere il peso, e perciò, a pari incidenza, la velocità del volo ascendente è minore — al regime, cioè quando l'equilibrio dinamico sussiste — di quella del volo orizzontale — a pari incidenza. Altrettanto avviene nel volo discendente *al regime*, non più perchè la propulsiva dia una componente che aiuta a reggere il peso, ma perchè le spinte alari si accostano alla verticale di un angolo β. In tutti i modi la

Digitized by Google

ragione matematica resta sempre la stessa; cioè perchè la centripeta negativa nel volo inclinato è sempre: G cos β, e cos β è sempre minore dell'unità.

Dal predetto consegue che il volo ascendente *permanente* non è possibile, a una data incidenza, se non quando OP supera la resistenza al volo orizzontale, — *per la stessa incidenza* — di una certa quantità. Quando questa condizione sia verificata, l'angolo β, della salita al regime, sarà tale che sia verificata l'eguaglianza:

$$P = G \cos \beta \operatorname{tang} \varphi + G \operatorname{sen} \beta$$

dividendo per G cos β

$$\frac{P}{G} \cdot \frac{1}{\cos \beta} = \operatorname{tang} \varphi + \operatorname{tang} \beta$$

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{P}{G} \cdot \frac{1}{\cos \beta} - \operatorname{tang} \varphi.$$

Ma $\frac{P}{G}$ altro non è che un valore particolare (tab. XV) di tang φ, per esempio, tang φ', corrispondente ad un angolo di volo più piccolo di quello che attualmente ha l'areoplano in volo ascendente.

Dunque: $$\operatorname{tang} \beta = \frac{\operatorname{tang} \varphi'}{\cos \beta} - \operatorname{tang} \varphi$$

e potremo averlo molto approssimativamente con due operazioni successive, trascurando dapprima cos β, poi introducendolo come termine di correzione.

In quanto alla velocità essa è quella che corrisponde al carico unitario, non più l'attuale $\frac{G}{S}$, ma a $\frac{G}{S}$ cos β e siccome le

Digitized by Google

Digitized by Google

Areoplano Faccioli in volo.

Digitized by Google

velocità (Cap. XVI) variano come le radici quadrate dei carichi [*Relazione* (4)], verrà:

$$\text{Velocità volo ascendente} = V_x \sqrt{\cos \beta}.$$

Se β non è grande, $\cos \beta$ è prossimo all'unità e $\sqrt{\cos \beta}$ ancora di più, e si può ritenere essere la velocità di regime del volo ascendente, praticamente eguale a quella del regime orizzontale.

Vedremo più avanti qualche esempio numerico.

***

Risulta da ciò chiaramente che se per una causa esterna, agitazioni del fluido, l'areoplano cambia il livello del proprio volo, questo non può avvenire se non *a spese della sua forza viva* e la velocità resterà diminuita in modo permanente se il livello si è alzato e viceversa se il livello è diminuito.

Perciò quando domina il vento e ricordando che questo ha intensità variabile a periodi, l'areoplano sarà in continuo cambiamento di livello e nel tempo stesso di velocità.

***

Un areoplano, abbiamo detto, monta o discende in modo permanente, se si aumenta o diminuisce l'incidenza, ma che però questo fatto è assoggettato alla condizione che la forza motrice disponibile equivalga alla resistenza al moto per l'angolo minimo e velocità massima, cioè al maggior valore che può avere tang φ (tabella XV e XVI).

Se invece, come avveniva nei primi tempi del volo, ed oggi ancora per gli apparecchi che già si dicono vecchi, la forza

Digitized by Google

motrice è limitata allo stretto necessario per lo stacco da terra, avviene che l'areoplano non vola — in giorni che il motore non è in perfetta condizione — se non alle incidenze di minor resistenza, da 12° a 10°. Allora tutti i tentativi di voler salire producono, dopo un lieve accenno di voler montare, la discesa rapida dell'apparecchio, perchè gli sottraggono, senza possibilità di ricupero, quella limitata velocità che teneva. Ed è ciò che invariabilmente succede quando il motore " non tira „.

Di contro, invece, se riteniamo essere la spinta motrice sempre quella che corrisponde al volo con angolo minimo e velocità massima, allora dovremo anche ritenere che l'apparecchio ha due velocità distinte di volo orizzontale, la minima e la massima che può assumere, e l'aviatore può passare dall'uno all'altra con una semplice variazione d'incidenza.

Però, *non senza cambiare il livello del volo*, ed il maggior livello corrisponde alla velocità minore e viceversa.

E non è possibile *in nessun modo* al pilota aumentare la velocità dell'areoplano, se non discende, o diminuirla, se non monta.

Questo possiamo dimostrare in due modi: 1° seguendo passo passo il meccanismo del volo, ed è ciò che faremo fra poco; 2° facendo la riflessione che è impossibile che sparisca od appaia della velocità nel moto di un mobile, anche se questo è un areoplano, senza che si possa *giustificare* l'impiego o il dispendio della energia sparita o comparsa sotto forma di forza viva. Gli aumenti o diminuzioni di livello solo, giustificano l'aumento o diminuzione di velocità, quando il *cambiamento* indotto dal pilota è soltanto la variazione d'incidenza.

Passiamo ora a vedere come avviene il volo nei diversi casi e come — sempre — si ristabilisca l'equilibrio dinamico.

Digitized by Google

CAPITOLO XVIII.

Equazioni Eolie.

Sia un dato areoplano in volo comunque; in un dato istante di tempo, sia V la sua velocità sulla qualsiasi trajettoria descritta, e α il suo angolo d'incidenza, P il valore qualsiasi della spinta del propulsore e β l'angolo che la tangente alla trajettoria fa con l'orizzonte.

Se ricordiamo le relazioni svolte per l'addietro, e ci riferiamo al quadro XV e XVI, noi conosciamo ad ogni istante il valore dell'accelerazione tangenziale e centripeta, e possiamo ricavarne la variazione di velocità, di spazio, di raggio di curvatura e d'angolo descritto in un breve istante di tempo, se conosciamo le sue condizioni di volo orizzontale alla data incidenza α.

Quei valori che ricaviamo dal calcolo numerico per le predette quantità, possono servirci per punto di partenza per un altro breve istante di tempo successivo al primo e così via, fino a costruire un buon tratto della trajettoria al fine di conoscere in che modo avviene il volo.

***

Se α_0 è il valore particolare conosciuto dell'incidenza **alla origine** del periodo che vogliamo studiare, noi sappiamo subito che se l'areoplano si trovasse in volo orizzontale all'in-

Digitized by Google

cidenza α_0, esso dovrebbe avere una certa velocità V_0, dipendente dal suo carico unitario, ricorrendo alla tabella XV, e sappiamo anche, dalle medesime tabelle, che la resistenza totale del fluido al suo moto darebbe due componenti, le quali sarebbero:

centripeta $= G$ (G peso apparecchio montato) tangenziale $= - m_0 G$

in cui m_0 è la tang φ che corrisponde all'angolo α_0.

Ma che però, la velocità attuale del moto essendo V, invece di V_0, le due dette componenti *attualmente* saranno:

$$\text{Centripeta} \quad G \frac{V^2}{V_0^2}$$

$$\text{Tangenziale} - m_0 G \frac{V^2}{V_0^2} .$$

***

D'altra parte, se β è l'angolo che la direzione attuale del moto, o ciò che è lo stesso, che la tangente alla trajettoria fa con l'orizzonte, la gravità darà anch'essa due componenti che saranno:

la centripeta $- G \cos \beta$

la tangenziale $= G \operatorname{sen} \beta$ (vedi fig. 30)

nelle quali β sarà positivo o negativo secondochè è misurato sopra o sotto l'orizzonte.

Mentre la forza propulsiva P sarà sempre una tangenziale **positiva**, conosciuta.

Digitized by Google

***

Facendo ora la somma delle tangenziali da una parte e quella delle centripete dall'altra avremo le risultanti:

$$\text{Tangenziale} = P - m_0 G \frac{V^2}{V_0^2} + G \operatorname{sen} \beta$$

$$\text{Centripeta} = G \frac{V^2}{V_0^2} - G \cos \beta.$$

Anche la spinta P può essere espressa in funzione del peso così: $P = m G$ (*) per cui raccogliendo i fattori comuni:

$$\text{Tangenziale} = G \left(m - \frac{m_0}{V_0^2} V^2 - \operatorname{sen} \beta \right)$$

$$\text{Centripeta} = G \left(\frac{1}{V_0^2} V^2 - \cos \beta \right)$$

e finalmente dividendo per la massa $\frac{G}{g}$ (g = gravità).

$$\text{Accelerazione tangenziale} = g \left(m - \operatorname{sen} \beta - \frac{m_0}{V_0^2} V^2 \right) \quad (1)$$

$$\text{„ centripeta} = g \left(\frac{1}{V_0^2} V^2 - \cos \beta \right).$$

***

Ora indicando con ρ il raggio di curvatura e ricordando

$$\rho = \frac{V^2}{\text{accelerazione centripeta}}$$

verrà:

$$\frac{1}{\rho} = g \left(\frac{1}{V_0^2} - \frac{1}{V^2} \cos \beta \right).$$

(*) m, è un altro valore di tang φ.

Digitized by Google

Con l'uso di queste relazioni noi possiamo determinare con sufficente esattezza tutte le condizioni del volo, anche nei casi di vento.

***

Per far questo noi dividiamo, come abbiamo detto, il tempo durante il quale vogliamo studiare la trajettoria in $^1/_2$ secondi — per esempio — ed avremo il valore approssimativo della velocità alla fine di ciascun periodo di $^1/_2$ secondo, dello spazio percorso e dell'angolo di cui ha girato il raggio di curvatura e perciò la tangente alla trajettoria dalle seguenti:

$$\text{V fine periodo} = \text{V origine periodo} + \frac{1}{2}(\text{acc. tang.}).$$

Spazio, ossia lunghezza sviluppata dall'arco percorso durante il $\frac{1}{2}$ secondo $= \frac{\text{V origine periodo}}{2} + \frac{1}{8}$ (acc. tang.)

$$\text{angolo descritto dalla tangente in gradi } (*) = 56.7 \times \text{spazio} \times \frac{1}{\rho}.$$

Nelle espressioni racchiuse fra le parentesi, si prende per V e per β il valore " medio „ fra quello dell'origine e quello fine periodo. A tutta prima questi valori medi non sono facilmente prevedibili, ma con la pratica dell'operazione si riesce a prevederli con sufficente approssimazione. Quando la differenza fra la media prescelta e quella che a operazione finita si manifesta essere la vera è piccola, si trascura, diversamente bisogna rifare l'operazione.

Del resto uno presto si accorge che ciò che eccede in un periodo, manca poi nel successivo, ciò che fa che il risultato finale non viene mai fuor di proposito.

(*) Durante il periodo, cioè $\Delta\beta$.

Digitized by Google

***

Le relazioni che abbiamo posato, servono per tutti i casi di evoluzioni verticali, sia che si supponga l'aria calma, sia che tiri vento.

***

Supponiamo che si tratti di una trajettoria di discesa a *motore spento* che viene in seguito a volo orizzontale con velocità $= V_0$. Noi faremo $m =$ zero nelle relazioni (1) e basterà.

Infatti se la velocità del volo orizzontale era V_0, tang. φ aveva già il valore m_0.

Ma supponiamo invece che nell'atto che si spegne il motore, si cambi l'incidenza da α_0 in α_x, cui corrisponde un altro valore di tang φ nelle tabelle XV, cioè m_x ed un'altra velocità di volo orizzontale V_x; allora nelle relazioni stabilite, oltre ad annullare P, cioè m, dovremo anche cambiare m_0 e V_0 in m_x e V_x, mentre ricorderemo che il 1° periodo di $^1/_2$ secondo comincia con velocità V_0. Meglio di tutte le spiegazioni serviranno gli esempi che seguono.

***

Per formarci un'idea esatta dell'andamento delle trajettorie e delle conseguenze che ne derivano, faremo alcuni casi, e perchè si vedano bene le oscillazioni e il modo col quale si spengono e si ristabilisce abbastanza rapidamente il *regime*, ricorreremo a delle fortissime variazioni d'incidenza e tali che

Digitized by Google

certamente un aviatore si rifiuterebbe di fare. Ma noi, più coraggiosi di lui, le faremo ugualmente... tanto non corriamo nessun pericolo.

***

Abbiamo visto che vi è almeno una coppia di valori dell'incidenza, per la quale tang φ ha lo stesso valore con velocità il più delle volte estreme, la *massima* e la *minima.* Dunque si può — pur conservando il massimo di forza motrice — passare dal volo orizzontale alla massima velocità, al volo orizzontale alla minima o viceversa, senz'altra manovra fuor di quella di un cambiamento d'incidenza. Ma perchè sí produca questa variazione di velocità, deve l'areoplano cambiare di livello per compensare quell'energia o parte di essa che scompare od appare sotto forma di variata forza viva.

Facciamo un esempio:

Sia l'areoplano in volo orizzontale a 30 m. velocità (108 kilometri-ora) con carico unitario 30 Kgr., tang. $\varphi = 0.200$ circa, con angolo prossimo a zero (tab. XVI, resist. passive $= 0.00012$ G) e supponiamo che di colpo si porti l'incidenza da zero gradi a 12°.

L'areoplano avrà cambiato istantaneamente *forma.* E per la nuova forma che presenta " *sulla linea del moto* „, le sue condizioni di " *volo orizzontale* „, saranno date dalla tab. XVI (coeff. res. pass. = 0,00012) corrispondenti ad una incidenza di 12°. E cioè:

$$\text{tang } \varphi \text{ per } 12^\circ = m_0 = 0{,}200 = \text{tang } \varphi \text{ per circa } 0^\circ = m$$

$V = 20$ m.; dunque:

$$\textbf{Regime attuale areoplano} \begin{cases} m = m_0 = 0{,}2 \\ V_0 = 20 \text{ metri} \end{cases}$$

mentre la velocità attuale è 30 metri.

Digitized by Google

Richiamiamo qui le nostre relazioni:

$$\text{acc. tang} = g\left(m - \frac{m_0}{V_0^2} V^2 - \text{sen}\,\beta\right)$$

$$\frac{1}{\varrho} = g\left(\frac{1}{V_0^2} - \frac{1}{V^2}\cos\beta\right)$$

Preparando prima il valore numerico delle costanti

$$\frac{m_0}{V_0^2} = \frac{0{,}2}{400} = 0{,}0005$$

$$\frac{1}{V_0^2} = \frac{1}{400} = 0{,}0025$$

E facendo $m = m_0 = 0{,}2$ avremo — nel nostro caso particolare:

$$\text{acc. tang} = 9{,}81\ (0{,}2 - 0{,}0005\ V^2 - \text{sen}\,\beta)$$

$$\frac{1}{\rho} = \text{(reciproca del raggio di curvatura)} = 9{,}81\left(0{,}0025 - \frac{1}{V_2}\cos\beta\right).$$

All'origine si ha $V = 30$ m., e $\beta =$ zero.

Introduciamo dapprima, senza variazione, questi valori per calcolare il primo periodo di $^1/_2$ secondo; verrà:

1mo Periodo
$\frac{1}{V^2}$ V = 30
= 0,0011
β = zero
sen β = zero
cos β = 1

acc. tang. = 9,81 (0,2 — 0,0005 × 900) = 9,81 (— 0,25) = — 2^m,45
e perciò a fine periodo, V = 30 — 1,225 = 28^m,775
spazio percorso nel periodo, $s = 15 - 0{,}31 = 14^m69$
$\frac{1}{\varrho}$ = 9,81 (0,0025 — 0,0011 = 9,81 × 0014 = 0,0137 ($\varrho = 73^m$, circa).
angolo descritto = 56,7 × 0,0137 × 14,69 = 11°,18′
cambiamento di livello, S sen β = 14^m,69 × sen 11°,18′ = metri 2,86.

E noi potremo subito tracciare il primo elemento della trajettoria, mediante la conoscenza di S e di S sen β.

Il secondo periodo partirebbe con V = 28^m,77 e $\beta = 11°{,}18'$. Senonchè — per raggiungere maggior esattezza — ci conviene di considerare sia V che β avere, fin dal primo periodo, un valore intermedio — se non esattamente il medio — fra

Digitized by Google

il valore iniziale e finale. Così dunque il nostro primo periodo comincerà con:

$$V = 29^m,38 \qquad \beta = 5^o$$

ed avremo i due valori finali

(1) $$V = 28^m,85 \qquad \beta = 10^o,53'$$

Come si vede non sono poi tanto differenti dai primi.

Così pure il secondo periodo assume per V e β i due valori medi:

$$V = 27,7 \qquad \beta = 15^o$$

Invece di quelli (1); e così via dicendo.

Ne risulta la serie di valori seguenti (che dò solo in parte):

Tabella XVII

Periodi di $^1/_2$ sec.	V origine metri	$\Sigma \Delta \beta$	Arco sviluppato Δs metri	Aumento livello $\Sigma s \operatorname{sen} \beta$ metri
1°	30 —	5°	14.7	1.03
2°	28.85	15°	13.87	4.64
3°	25.66	23°	12.80	9.59
4°	24.16	30°	11.40	15.29
5°	21.43	35°	10.12	21.06
Inflesso (Centrip. zero — tang massima)				
6°	18.63	36°.5	8.65	26.96
7°	15.98	35°	7.39	31.17
8°	13.63	27°	6.43	34.07
9°	12 —	16°	5.85	35.65
10°	11.38	2°	5.81	35.85
Massimo (Centrip. mass. — tang zero)				
11°	11.88	— 10°	6.30	34.76
12°	13.32	— 22°	7.48	31.96

Spazio percorso (sviluppato) $110^m,70$.

Digitized by Google

La traiettoria che ho avuto la pazienza di seguire fino al 66° periodo è quella della fig. 31.

Non è che dopo il 66° periodo che si può ritenerla — praticamente — rettilinea orizzontale, e la velocità è (al 66° periodo) metri 20,2, con centripeta zero e tangenziale = 0,25. Come si vede si è molto prossimi all'equilibrio dinamico definitivo ed alla velocità *regime* di 20 metri. Ma intanto l'areoplano ha percorso 540 metri!

La *linea di regime* è questa volta un'orizzontale e le prime osservazioni, cioè le superficiali, che ci si presentano sono:

1° che dopo una forte oscillazione prodotta dall'improvviso squilibrio, ben presto le oscillazioni si spengono e la trajettoria tende abbastanza rapidamente al regime orizzontale;

2° che i massimi ed i minimi di livello corrispondono sempre in prossimità di tangenziale zero; cioè che l'accelerazione tangenziale è zero quando β s'avvicina a zero, che è appunto il valore che deve avere al regime;

3° che gli inflessi della traiettoria, corrispondenti a centripeta zero, arrivano ben presto a trovarsi su una orizzontale unica, che è quella sulla quale va a stabilirsi il nuovo regime.

Questa trajettoria rettilinea, che sarà la finale, si trova a m. 17,50 più alta dell'originale. L'aumento di livello corrisponde egli alla perdita di forza viva subita dall' areoplano passando dalla velocità originale di 30 metri alla finale di 20? Vediamolo:

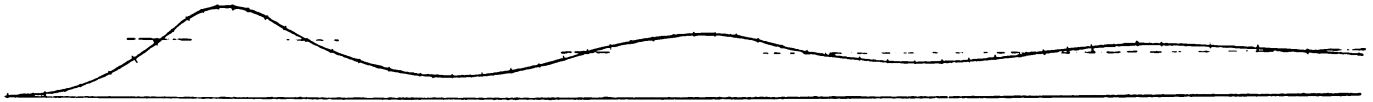
I quadrati delle due velocità 30 e 20 essendo rispettivamente 900 e 400, si avrà:

$$\text{var. energia} = \frac{m}{2}(V^2 - V_0^2) =$$

$$= \frac{G}{19{,}62}(900 - 400) = G\,\frac{500}{19.62} = 0.05 \times 500 = 25\ G \text{ circa.}$$

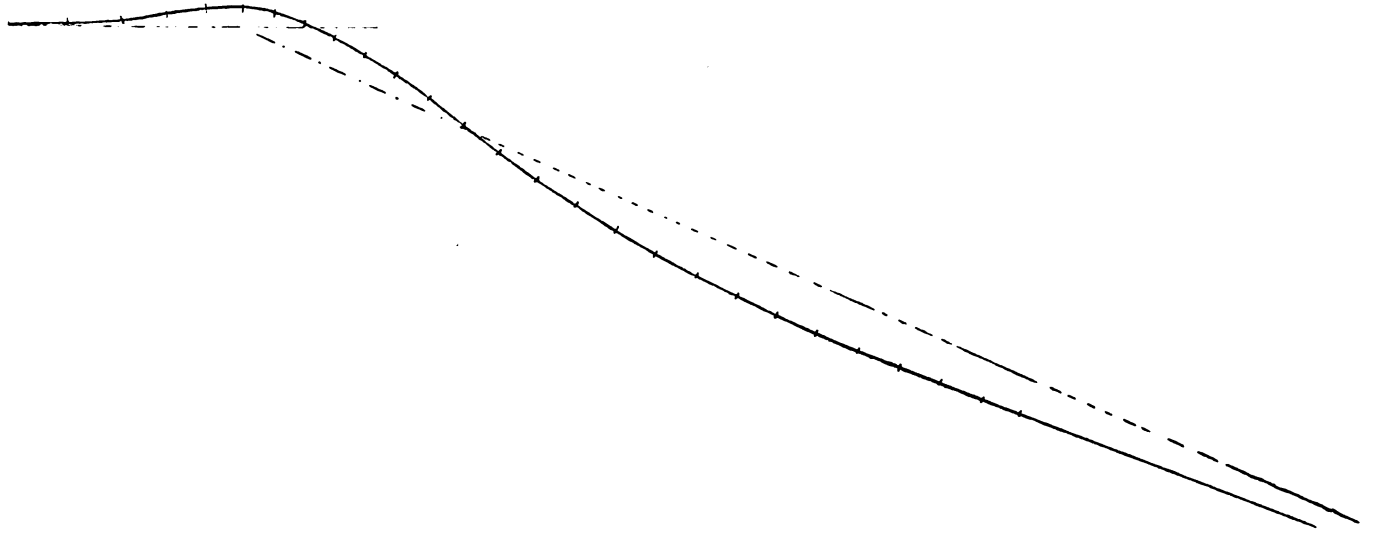
Dunque l'areoplano dovrebbe elevarsi di poco più di 25 metri. Del resto, senza far calcoli, bastava aprire un Manuale

Digitized by Google



1° Inflesso. Percorso 540 metri. Scala 1:8000.

Fig. 31. — Trajettoria di passaggio da velocità di 30 m. a velocità di 20m.



Scala 1:8000.

Fig. 32. — Volo plané con variazione d'incidenza. — Carico unitario 30 Kg. Resist. pass. coeff. = 0,0004.

Digitized by Google

qualunque ad uso ingegneri per trovare, alla tabella che dà i valori delle velocità di cadute dalle diverse altezze, che: la velocità di 20^m corrisponde a caduta dall'altezza di metri 20,39, mentre quella di 30 corrisponde a caduta dall'altezza di m. 45,87; d'onde la differenza dei due lavori della gravità corrisponde a caduta da m. 25,48.

Invece troviamo che l'areoplano non si è elevato che di m. 17,50, cioè 7,50 di meno. Dov'è andato il resto dell'energia? Non troviamo altra spiegazione fuor quella di ammettere che si è sperduta nel superare la resistenza al moto, dovuta alle pendenze superiori al regime, prodotto dalle forti oscillazioni. E la conferma l'abbiamo nel fatto che il primo inflesso si produce a livello molto prossimo a 25^m; man mano che le inflessioni della trajettoria si fanno minori, si stabiliscono sulla linea di regime definitiva.

Ma altre osservazioni ci conducono a fare l'esame della trajettoria in discussione.

L'espressione dell'acc. tang. $= g\left(m - m\frac{V^2}{V_0^2} - \text{sen}\,\beta\right)$ ci conduce a concludere che ogni volta che detta accelerazione è zero, deve essere:

$$(1) \qquad m - m\frac{V^2}{V_0^2} = \text{sen}\,\beta.$$

Ora dall'origine del periodo fino al ristabilimento dell'equilibrio definitivo, V va continuamente avvicinandosi a V_0, oscillando fra dei massimi superiori e dei minimi inferiori a V^o, ma questi valori estremi vanno continuamente restringendosi verso il valore definitivo V_0.

Noi vediamo allora che il valore di sen β va continuamente facendosi di più in più prossimo al regime, zero, ad ogni passaggio della tangenziale per zero ed è definitivamente zero per $V = V_0$.

Analogamente per la centripeta. Ogni volta che si produce

Digitized by Google

un inflesso nella trajettoria, si ha la centripeta zero. E poichè questa è espressa da $g\left(\frac{V^2}{V_0^2} - \cos\beta\right)$ sarà ogni volta

$$\frac{V^2}{V^0} = \cos\beta. \tag{2}$$

Man mano che β tende verso zero tende anche $V = V_0$.

Poi noi vediamo che è impossibile che avvenga alcun inflesso prima che non sia $V < V_0$, perchè cos β deve sempre essere minore dell'unità e perciò β cresce sempre, finchè questo non sia avvenuto. Ciò che del resto è naturale, perchè finchè V supera V_0 vuol dire che al mobile sopravvanza ancora energia su quella che gli sottraggono la resistenza del fluido e la gravità, e perciò la pendenza aumenta ancora. D'onde consegue che se un areoplano avesse una velocità grandissima, ciò che può sempre procurarsi con una rapida e lunga discesa e macchina a tutta forza, e poi di colpo si portasse l'incidenza ai valori più alti possibili, la pendenza della salita potrebbe diventare spaventosa. Se noi la supponiamo di 90° ne consegue: cos β = zero e perciò V = zero; cioè in tal caso l'areoplano salirebbe fino a perdita totale della sua velocità — ciò che qualche volta è avvenuto, anche senza grande velocità precedente, per impennate fuor di proposito.

Questa riflessione ci conduce a farne un'altra; che: le variazioni di velocità e di inclinazione della traiettoria hanno un rapporto diretto con la differenza fra la velocità iniziale e quella di regime.

Ma ci dilungheremo — molto inutilmente — in considerazioni che possono interessare soltanto lo studioso e non le applicazioni pratiche — alle quali voglio strettamente attenermi — come quelle che hanno più diretta attinenza col *mestiere.*

Colgo anzi l'occasione per dichiarare che, non solo mi trovo

Digitized by Google

costretto da " *necessità imperiose* „ a ridurre la trattazione dell'argomento allo stretto necessario, per l'intelligenza di quanto espongo, ma che trovo superfluo perder tempo nello svolgimento di calcoli. La difficoltà delle soluzioni dei vari problema che ci presenta la **realtà**, non consiste nell'applicarvi il calcolo, ma nel trovare il metodo. Il resto è, direi quasi, meccanismo. E voglio sperare che non mi avverrà ancora questa volta — come sempre finora mi è avvenuto — che altri, applicando il calcolo allo svolgimento di problema da me risolti, ed evitando di citare la fonte, li dia come soluzioni sue proprie, per il solo fatto che alle quantità, da me contemplate, ne ha sostituite altre equivalenti (*).

***

La trajettoria della fig. 31 è stata ottenuta ammettendo che le resistenze passive avevano per coefficente 0,00012 invece di 0,00035. Se noi invece adottiamo questo ultimo coeff. troveremo una trajettoria differente. Infatti, richiamando le nostre relazioni scritte così (per il caso $m = m_0$)

$$\text{acc. tang } g\left(m\left(\frac{V_0^2 - V^2}{V_0^2}\right) - \text{sen } \beta\right)$$

$$\text{acc. centrip.} = g\left(\frac{V^2}{V_0^2} - V^2 \cos\beta\right),$$

e ricordando che V_0 e V non variano per il cambiamento delle resistenze passive, noi vediamo che mentre la *centripeta*

(*) Il lavoro che io faccio qui — ed altrove — è quello che *necessariamente* deve precedere l'applicazione del calcolo — col metodo classico — dato che sia possibile — cosa che a me non appare. — Tuttavia io debbo ammettere che altri ci riesca. Ma in ogni caso costui **deve sapere** che la sua opera viene in continuazione della mia.

Digitized by Google

resta inalterata, cambia la *tangenziale*. E che in conseguenza le trajettorie saranno altre.

Il coefficente 0,00012 è — **per ora** — ipotetico, nessun areoplano ha — per ora — delle resistenze passive così piccole; ma è con intenzione che ho svolto codesta trajettoria, per quello che dovrò dire in seguito.

***

La trajettoria fig. 32 è quella della discesa di un areoplano a motore spento. Cioè è quella di un " *volo plané* „.

Si ammette che all'origine sia V = 30 m., $\alpha = 0$; per K = 30 kg. Poi che all'atto che si spegne il motore l'incidenza sia portata a 6°. Qui le resistenze passive sono state elevate a 0,00044; caso non infrequente.

Quando si annulla la spinta motrice, si ha m = zero, nella espressione della tangenziale la quale diventa:

$$\text{acc. tang} = g\left(-\frac{m_0}{V_0^2}V^2 - \text{sen}\,\beta\right).$$

Nel caso nostro particolare abbiamo:

$$m_0 = 0{,}499, \quad V_0 = 22{,}70 \quad \text{e perciò} \quad \frac{m_0}{V_0^2} = 0{,}000969.$$

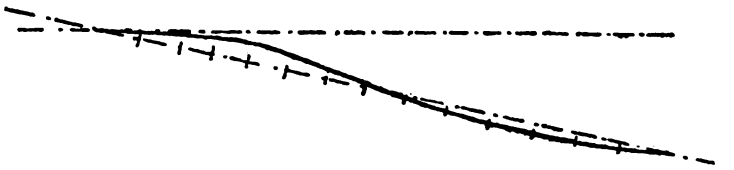
Ed il primo periodo comincia con acc. tang negativa di — 7m,8 e con centripeta positiva (per l'aumento dato all'incidenza), e perciò la trajettoria comincia con una salita.

***

La trajettoria fig. 33 è quella di " *volo plané* „ a motore spento, ammettendo carico unitario = Kg. 13,50, resistenze

Digitized by Google

passive = 0,00035, volo orizzontale a incidenza di 6°, e che senza altre variazioni siasi spento il motore.



Traiettoria e volo plané. — Scala 1 : 8000.

Fig. 33. — Discesa a terra per areoplano a carico unitario Kgr. 13.5 p. mq. Resist. pass. coeff. = 0.00035.

***

La trajettoria fig. 34 è quella di stacco da terra ammettendo

$K = 30$ kg., $\alpha = 0°$ $V = 30$ m. e perciò $\text{tang}\,\varphi = m = 0{,}418$.

Coeff. passive = 0,00035.

Poi si ammette che il pilota — volendo *décoller* — porti di colpo (cosa che non si pratica) l'incidenza a 10°.

Per questo fatto abbiamo:

$$\text{Regime dell'areoplano} \begin{cases} m_0 = 0{,}271 \\ V_0 = 20{,}34. \end{cases}$$

Non solo; ma poichè all'origine l'areoplano era in volo a 0° gradi, la forza propulsiva era 0,418 G..... (G tang φ), mentre attualmente la resistenza al volo non è più che 0,271 G..... ...(G tang φ_0). Perciò avremo *salita permanente*. E la pendenza di questa salita ci viene data da (§ 29)

$$\text{tang}\,\beta = \frac{\text{tang}\,\varphi}{\cos\beta} - \text{tang}\,\varphi_0\,.$$

Digitized by Google

Cioè, nel nostro caso:

$$\text{tang}\,\beta = \frac{0{,}418}{\cos\beta} - 0{,}271,$$

d'onde per prima approssimazione:

$$\text{tang}\,\beta = 0{,}418 - 0{,}271 = 0{,}147$$

e perciò: $\beta =$ gradi 8,20′,

e per seconda e sufficente approssimazione: ($\cos\beta = 0{,}99$)

(a) $$\text{tang}\,\beta = \frac{0{,}418}{0{,}99} - 0{,}271 = 0{,}42 - 0.271 = 0{,}151.$$

D'onde:

$$\beta \textit{ di regime} = \text{gradi } 8{,}40'.$$

La correzione è di 20′, cioè praticamente inutile.

E finalmente dunque, sappiamo che la nuova condizione del moto, alla quale si ristabilirà l'equilibrio dinamico, è con velocità di m. 20,34 ($\times$ cos β, che trascuriamo) seguendo una trajettoria rettilinea ascendente, la cui pendenza è — dalla (a) — il 15,1 %.

***

In quanto alle nostre relazioni determinanti la trajettoria del periodo transitorio, il quale dura più assai di 30″ e che richiede un percorso di più assai di $^1/_2$ chilometro, esse diventano:

Digitized by Google

$$\text{acc. tang} = 9{,}81\ (0{,}418 - 0{,}00055\ V^2 - \operatorname{sen}\beta)$$

$$\frac{1}{\rho} = 9{,}81\ (0{,}00241 - \frac{1}{V_2}\cos\beta).$$

All'origine $V = 30$, $\beta =$ zero; ma prendendo invece i valori mèdi sarà: $V = 29^m{,}6$; $\beta = 5°$.

Anche qui vedremo l'accelerazione tangenziale avvicinarsi a zero man mano che β — dopo il primo inflesso — si avvicina al β di regime. E prodursi degli inflessi quando la velocità si avvicina al V di regime, ecc. ecc.

§ 32. — **Volo col vento.**

Le relazioni esaminate sono tutte applicabili al caso di volo con vento.

Invero: se noi supponiamo che l'areoplano in volo orizzontale con velocità V_0, incidenza α_0, incontri una raffica di vento di velocità v, che per ora supponiamo arrivare improvvisa di colpo, la velocità *del vento relativo* passa a

$$V_0 + v = V_x.$$

Esso allora si troverà nelle esatte condizioni di un areoplano la cui velocità iniziale, di volo orizzontale, fosse stata V_x e di colpo sia passato al regime attuale V_0, α_0.

Si ricade esattamente nel caso della 1ª trajettoria studiata, nella quale, essendo l'apparecchio in volo a 30 m. velocità, d'improvviso si aumenta l'incidenza, senza però variare la forza propulsiva.

L'areoplano si trova, nell'un caso e nell'altro, ad avere una

Digitized by Google

incidenza superiore a quella *che dovrebbe avere per il volo orizzontale* con la velocità attuale.

L'areoplano si alzerà di livello fino ad aver perduto tutto l'eccesso di velocità che possiede — sull'aria ambiente — cioè finchè la velocità propria non sia divenuta $V_0 - v$ e la massima elevazione di livello sia la differenza delle due cadute corrispondenti alle velocità V_0 e V_x; mentre il massimo valore di sen β sarà: $\frac{\text{rapp. } \alpha_0}{\text{rapp. } \alpha_x}$, ove α_0 è l'angolo d'incidenza dell'areoplano ed α_x è l'angolo che dovrebbe avere per il volo orizzontale con velocità V_x.

Se il vento invece d'esser contrario era in favore, allora il vento relativo diventa: $V_0 - v = V_x$ e l'areoplano si troverà nella condizione come se, essendo all'origine in volo orizzontale alla velocità $V_x < V_0$, di colpo si passasse al regime V_0, α_0.

Ed anche qui ripeteremo. L'areoplano si trova improvvisamente ad avere un'incidenza *minore* di quella che dovrebbe avere per il *volo orizzontale* con la velocità attuale. Nè più nè meno come se essendo in volo orizzontale, con la velocità *attuale*, il pilota avesse improvvisamente diminuita l'incidenza.

Discenderà fino ad avere acquistato la velocità v ed avere di nuovo la velocità V_0, rispetto all'aria ambiente e la discesa massima sarà la corrispondente alle due velocità estreme.

***

La sostanziale differenza fra i due casi è che, man mano che la trajettoria si inclina, la direzione del vento relativo non si conserva nella direzione del moto, come per l'avanti, ed ha invece luogo una deriva longitudinale.

Se poi si introduce la considerazione che il vento non arriva improvviso, ma mette un certo tempo ad assumere il suo massimo di velocità, e se un periodo di 3-4 secondi (che non

Digitized by Google

è dei più lunghi) lo concediamo ad un vento, non assolutamente insolito, per passare da zero alla sua massima velocità, e se questa massima velocità, secondo quanto è convenuto al § 21, è $V_0\left(1 \pm \frac{1}{3}\right)$, dove V_0 è la velocità iniziale alla perturbazione, potremo procedere così:

Supponendo il vento arrivare in 4 secondi al suo massimo di intensità, dividendo questo tempo in 8 periodi, si ottengono 8 valori differenti e 8 direzioni del vento relativo ai quali corrispondono 8 successive variazioni del regime finale. Coi quali si può costruire la traiettoria che risulta della medesima natura di quelle già studiate.

In questo caso speciale, il calcolo analitico non sembra applicabile — a meno di introdurre un numero considerevole di ipotesi restrittive — che lo renderebbero illusorio. Ed è a questo uso speciale che sono destinate le relazioni fin qui studiate, giacchè nel caso delle evoluzioni verticali in aria calma, non se ne sente un gran bisogno. In aria calma è in perfetto arbitrio del pilota moderare a suo talento tutte le evoluzioni verticali, mentre così non è nel caso di vento. Ed è qui, perciò, che bisogna saper prima cosa può succedere, e che ci vengono in soccorso le relazioni discusse.

È per questa ragione che le ho denominate **Equazioni Eolie**.

Una volta stabilita la direzione e l'intensità del vento (in ciascun periodo di $^1/_2$ secondo) ne risulta un certo *vento relativo*, avente una certa *incidenza* con le ali dell'app. D'onde, per ciascun periodo, un certo regime di volo orizzontale; indi la conoscenza di tangenziale e centripeta. E così per 8 periodi consecutivi si hanno 8 regimi differenti, dopo i quali si hanno le oscillazioni, già studiate, che precedono il ristabilimento dell'equilibrio dinamico.

È certamente un lavoro di pazienza; ma ne risultano pa-

Digitized by Google

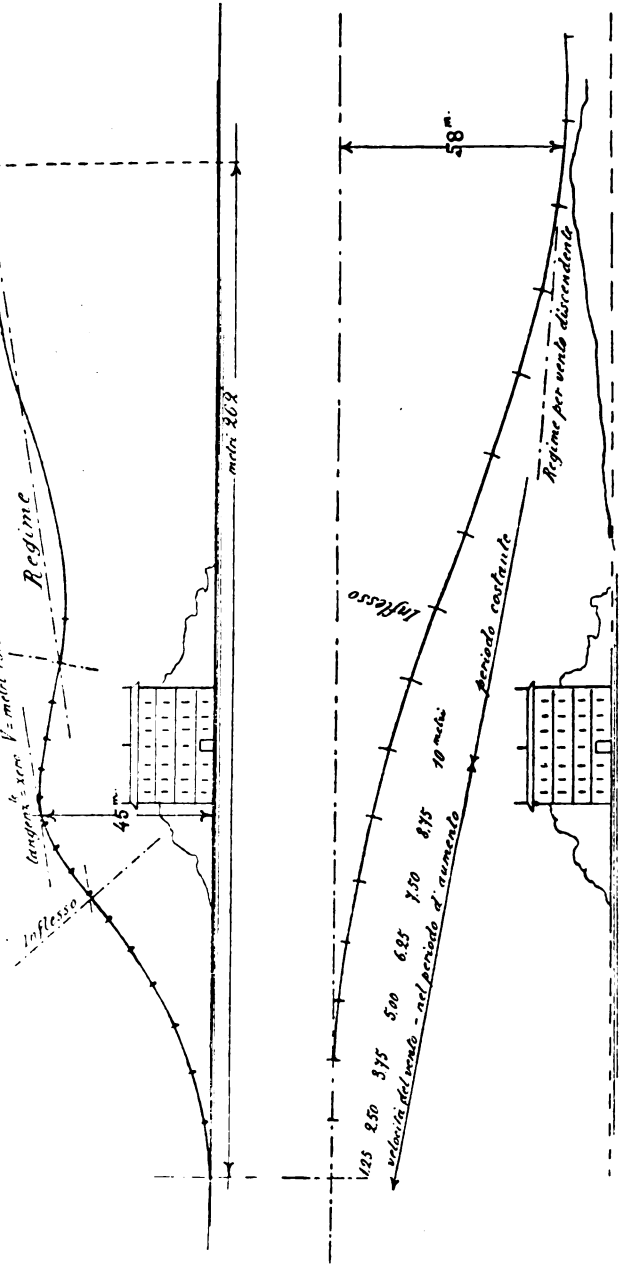


Fig. 34. — Stacco da terra per areoplano K = 30 Kg., $\alpha = 0°$, V = 30 m., coeff. passive = 0,00035.

Fig. 35. — Trajettoria di discesa, per ripresa di velocità di areoplano, come sopra, colpito a tergo da raffica di vento, che in 4 secondi arriva a velocità di 10 m.

Digitized by Google

recchi criteri utili, che forse altrimenti non si sarebbero potuti avere.

Se si pon mente alle tabelle XV e XVI, si osserverà che — specialmente per carichi unitari non troppo forti — man mano che si diminuiscono le resistenze passive, le tang φ tendono a divenire costanti. Per la qual cosa, vi è sempre un'incidenza per la quale il volo orizzontale può avvenire, a qualsiasi delle velocità comprese fra la minima e la massima, senza nulla toccare alla forza propulsiva. Ne consegue che, nel caso di vento, il pilota può evitare le fortissime oscillazioni di livello variando opportunamente l'incidenza. Così, per es., dalla tab. XVI abbiamo che fra gradi 4 e gradi 10 si ha tang φ press'a poco costante ed eguale a 0,175; mentre la velocità passa da $20^{m},40$ a $24^{m},50$. Se dunque trovandosi l'apparecchio in volo con metri 20,40 di velocità, e per azione di vento il moto relativo dell'aria ambiente diventasse $24^{m},50$, il pilota può, passando dall'incidenza di 10° a quella di 4°, evitare di salire — e questo sarebbe un inconveniente piccolo — ma sopratutto evitare di **perdere velocità!**

E quando l'ondata aerea cesserà, invece di dover ricadere per riprendere velocità, non avrà che da riaumentare l'incidenza a 10°.

***

Non ho la pretesa di risolvere tutte le difficoltà che presenta il problema del volo. Esse sono innumerevoli, ed è ancora presto per dire l'ultima parola in proposito.

In fig. 35 vi ha la trajettoria di un areoplano in volo orizzontale,

K = 30 kg., coeff. passive = 0,00035, velocità 30 m., α = zero,

Digitized by Google

colpito a tergo da una raffica che in 4 secondi arriva alla velocità di 10 metri 1''. Il vento ha direzione discendente con inclinazione di 15°. L'areoplano precipita per metri 58.

§ 33. **Volo a vela.**

Si chiama *volo a vela* quello che solo gli uccelli possono praticare quando c'è vento e per mezzo del quale essi si reggono in volo delle ore consecutive senza dare un colpo d'ala. Ho già spiegato (FACCIOLI, *Teoria del volo*) come succede questo fenomeno. Ma, mentre le altre cose che ho detto in quella ormai vecchia pubblicazione, le ho viste liberalmente utilizzate qua e là, di questa nessuno ha voluto saperne, forse perchè mi sono spiegato male. Ed invece, per spiegare il volo a vela, più volentieri si fa ricorso ad artifici, coi quali si tenta dimostrare che l'uccello che vola, col solo soccorso del vento, riceve dal vento l'energia per sostenersi. " *L'oiseau capte dans le vent une certaine somme d'énergie* „. E questo non è, dopo tutto, che un errore di più, da aggiungere ad una già ricca collezione.

È semplicemente impossibile che una massa in movimento ceda energia ad un'altra massa, quando i movimenti rispettivi sono in senso opposto, e nel tempo stesso è impossibile che un sistema pesante — sia pure un uccello — riesca a sostenersi in aria e tanto meno ad alzarsi di livello, se non incontra nel fluido che lo sostiene una resistenza, la quale, per il solo fatto che è una resistenza, gli sottrae, non gli cede energia. Noi vediamo, sì, l'invocato cervo volante sollevarsi in aria, per azione del vento; ma allora la resistenza la supera *la corda*! Ma nel caso di un uccello, cioè di un sistema libero nello spazio, la sola resistenza opponibile è la propria forza d'inerzia, che è quanto dire la propria velocità, che non resiste se non a patto di *sperdersi*, e allora il volo a vela è finito e... cala l'uccello.

Digitized by Google

Non si spiega in nessun modo il volo a vela, se non si ammette che l'uccello descrive dei cerchi più o meno grandi. E qualcuno lo ha certo insegnato agli uccelli, perchè essi fanno proprio così; salvo casi eccezionali di regioni ove regna vento ascendente continuo, che può permettere il volo rettilineo.

Bisogna che l'uccello si presenti al vento un po' di traverso e che *viri*. Allora il vento gli fornisce la forza centripeta, la quale, essendo soltanto la componente orizzontale normale al moto, l'altra componente, la verticale, equilibra il peso. La resistenza del fluido allora non è più opposta al moto e questo può conservarsi uniforme. Ed il fenomeno l'ho spiegato precisamente in base a questi concetti.

Del resto mi affretto ad aggiungere: il fenomeno si complica con altre cause delle quali: 1° qui ove volevamo trattare solo degli areoplani non è il caso di parlare; 2° che io dichiaro non conoscere che molto imperfettamente..... e questa ultima, è forse la ragione più sincera.

***

Il volo degli uccelli avviene a velocità e con dispendi di forza così minimi, in confronto cogli areoplani, che ogni paragone fra il volo degli uni e quello degli altri è impossibile.

Quello che solo si può dire è questo: che si può dimostrare col fatto delle salite che essi fanno, che un uccello ha a sua disposizione una forza motrice — per un breve tratto di tempo — in tutto equivalente a quella che avrebbe un areoplano di egual peso. Ma è altrettanto evidente, osservando i *voli planés* che essi possono effettuare in aria calma, che le loro tangenti φ sono minime. E questo solo può spiegare, insieme col resto, il volo a vela degli uccelli, nel tempo stesso che lo esclude per gli areoplani.

Digitized by Google

CAPITOLO XIX.

Riepilogo.

Da tutto quanto abbiamo svolto consegue:

1° Che la stabilità, sia longitudinale che laterale del volo di un areoplano, dipendono esclusivamente dal modo con cui è impennato, ed abbiamo visto a quali mezzi bisogna ricorrere per riuscire.

2° Che i turbamenti nell'equilibrio dinamico, siano essi prodotti dalle manovre di ascesa o di discesa, o dal vento, dànno inevitabilmente luogo ad un volo ondulato che si va rapidamente trasformando in rettilineo quando la causa perturbatrice cessa.

Ora per ultima cosa aggiungiamo: l'esperienza prolungata del volo con apparecchi impennati secondo regole razionali ha dimostrato che la locomozione aerea a mezzo di areoplani non presenta maggiori pericoli di un'altra qualsiasi locomozione a grande velocità, meno il caso di grandi venti. Il pericolo non risiede nel volo, ma nella scesa a terra con gli apparecchi a grandi velocità. Ma anche questo pericolo scompare, se il volo si fa su delle grandi distese d'acqua, con apparecchi atti a galleggiare. Per esempio, sul mare.

E certamente questa è la via nella quale maggiormente si esplicherà lo *sport* aereo e si troveranno utili applicazioni.

Digitized by Google

***

Finalmente poi — non se ne può far a meno — quale sarà l'avvenire della locomozione aerea?

Non è libro che tratti del volo e che si rispetti, che non si chiuda con delle profezie. Dunque rivestiamo l'ammanto del profeta e profetizziamo.

***

Come applicazioni pratiche poche, meno forse una... che sto tentando. La principale sarà lo *sport*.

Ma non si creda che un'applicazione sia piccola quando serve solo allo *sport*. Sarebbe grave errore! Tutto ciò che noi facciamo nel mondo ha un fine supremo..... lo *sport*.

Se voi date alla parola *sport* tutto intero il significato che comporta e poi dopo riflettete, vedrete che lo *sport* è la nostra unica costante preoccupazione..... la quale ci fa maledire..... l'occupazione.

Dunque ben venga la locomozione aerea, e se non serve agli usi pratici, tanto meglio! Ma non lo sperate, però: ahimè! la pratica s'impadronirà certamente anche della locomozione aerea e non mi stupirei di vedere un giorno le aquile, un tempo superbi animali, raumiliate su un campo d'aviazione chiedere ai signori del comitato ..... il loro brevetto di pilota.

***

Ma faccia quello che vuole la pratica; io conosco un campo in cui essa non metterà mai il suo enorme e grottesco piede,

Digitized by Google

ed è in questo campo che la locomozione aerea spargerà abbondanti semi che frutteranno. Sì, e son facile profeta.

La riuscita della macchina a vapore ha dato origine ad un nuovo ramo della scienza — della scienza ideale — che ebbe il nome di Termodinamica, ed ha schiuso alla mente orizzonti sterminati!

La riuscita della locomozione aerea farà altrettanto!

A voi pratici tutto questo importa..... un fico secco? Aspettate!.....

Digitized by Google

INDICE

INTRODUZIONE . . . . . *Pag.* 1

PARTE I.

CAP. I. — Volare . . . . . *Pag.* 9

CAP. II. — Preliminari . . . . . „ 13

§ 1. Posizione d'equilibrio od assetto, 16. — § 2. Spostamenti, 18. — § 3. Piano alare. - Vento relativo, 19. — § 4. Grado di stabilità, 24.

CAP. III. — Nomenclatura . . . . . „ 26

§ 5. Superficie ventrale e dorsale, 26. — § 6. Battente e ciglio, 27. — § 7. Angolo di incidenza e di orientazione, 27. — § 8. Ali piane e curve. - Ali dritte ed arcate, 27. — § 9. Profilo. - Piano di simmetria, 28. — § 10. Moto normale e in deriva, 28. — § 11. Incidenza di un'ala piana, 29. — § 12. Incidenza di un'ala curva, 29. — § 13. Larghezza e lunghezza. - Superficie dell'ala, 29.

CAP. IV. — Resistenza dell'aria . . . . . „ 30

§ 14. Resistenza dell'aria sulle ali in moto, 33. — § 15. Spinta alare, 41.

CAP. V. — Risultati d'Esperienze . . . . . „ 42

§ 16. Ali curve, 46. — § 17. Centro di pressione nel moto obliquo, 50.

CAP. VI. — Componenti verticale ed orizzontale della spinta alare „ 53

§ 18. Rapporto fra le componenti, 60.

Digitized by Google

Cap. VII. — Equilibrio longitudinale . . . . . *Pag.* 67

§ 19. Condizioni d'equilibrio, 69. — § 20. Momenti negativi e positivi, 70. — § 21. Vento relativo nel piano verticale, 75.

Cap. VIII. — Forme stabili . . . . . „ 78

§ 22. Equilibratori stabilizzatori, 85.

Cap. IX. — Diagramma dei momenti alari . . . . . „ 87

§ 23. Scia delle ali, 101.

Cap. X. — Areoplano stabile . . . . . „ 106

PARTE II.

Cap. XI. — Equilibrio dinamico . . . . . *Pag.* 115

§ 24. Una piccola scorsa nel campo matematico, 116.

Cap. XII. — Evoluzioni . . . . . „ 120

Cap. XIII. — Impennaggi e timone . . . . . „ 124

§ 25. Il timone, 126. — § 26. Digressione non del tutto inutile, 130. — § 27. Derapare, 136.

Cap. XIV. — Viraggio degli areoplani . . . . . „ 140

§ 28. Equilibrio laterale, 144.

Cap. XV. — Il vento e la deriva . . . . . „ 149

§ 29. I gauchissements !, 154. — § 30. Impennaggi alti e impennaggi bassi. V dritto e V rovescio, 157.

Cap. XVI. — Volo nel piano verticale . . . . . „ 167

Cap. XVII. — Volo. - Evoluzioni verticali . . . . . „ 181

§ 31. Volo ascendente al regime, 189

Cap. XVIII. — Equazioni Eolie . . . . . „ 195

§ 32. Volo col vento, 211. — § 33. Volo a vela, 216.

Cap. XIX. — Riepilogo . . . . . „ 218

Digitized by Google

INDICE ALFABETICO

A

Ali (definizioni), 27, 28.
Ali (esperienze), 41, 50.
Andar di punta, 68.
Angoli di incidenza, 27, 28, 46, 50.
Angolo di barra, 127.
Id. derapamento, 146, 152.
Id. volo, 77.
Annullamento incidenza, 147.
Areoplano Antoinette, 86, 102.
Id. Blériot, 83, 98.
Id. Centratura, 94.
Id. Curtin, 105, 155.
Id. Faccioli, 106.
Id. Farman-Voisin, 84.
Id. Wright, 82, 86, 104, 138.
Aria agitazioni, 75.
Assi dell'areoplano, 19.
Attrito dell'aria, 34-38.
Azioni antagoniste, 15, 111.

B

Banda al timone, 127.
Barra (angolo), 127.
Battente, 27.
Brevetti Wright, 155.

C

Centrare (areoplano), 81, 94.
Centro pressione (ali), 43, 50.
Id. id. nel moto obliquo, 51.
Id. gravità in basso, 72, 112.
Ciglio delle ali, 27.
Coefficiente resist. passive, 170, 173.
Componenti alari, 84, 60.
Id. rapporto, 60.
Confronti d'ali, 63.

D

Derapare, 137, 142, 145
Deriva, 150, 153.
Id. reale ed apparente, 151.
Diagramma spinte alari, 48.
Id. momenti alari, 88.
Id. (rapidità dei), 90, 96.
Id. areoplano Faccioli, 107, 110.
Digressioni, 130, 162.

E

Eifel (Ing.), 39, 40, 42.
Equilibrio (definizioni), 14.
Id. condizioni, 69.
Id. laterale, 144, 156.
Equilibratori, 85.
Esperienze su ali piane, 43.
Id. curve, 46.
Evoluzioni, 121.

F

Forme stabili ed instabili, 79, 80.
Forze nelle evoluzioni, 122.
Id. centrifuga (digressioni), 162.
Id. assorbita dal volo, 175, 178.

Digitized by Google

G

Gauchissements, 154, 155.
Grado di rapidità, diagrammi, 90, 96.

I

Impennaggi, 157, 125.
Impennare, 67.
Incidenza (angoli), 27, 28.
Id. variazione, 72.
Id. annullamento, 147.

M

Maxim, 46, 58.
Meccanica (definizioni), 14, 116.
Momenti, delle forze, 70.
„ alari, 88.
Moto normale, in deriva, 28.
Id. obliquo, 51.

P

Passive (resistenza), 73, 168.
Percentuale pendenza, 58.
Percorso, 179.
Piano alare, 20.
Id. di simmetria, 28.
Poppavìa, provavìa, 128.
Pressione normale, 32.
Profilo ali, 28.

R

Rapidità dei diagrammi, 90, 96.
Rapporto componenti, 60, 177.
Resistenze alari, 168, 170.
Resistenze passive, 73, 168.
Risultati d'esperienze, 43.
Rotta (stabilità di), 127.

S

Scìa, 101.
Sopravvento, 52.
Spinte alari, 41, 43.
Spostamenti, 15, 18, 19.
Stabilità di rotta, 127.
Stabilità (limiti), 16, 21, 24.
Stabilizzatori, 85.
Superficie ventrale e dorsale, 26.

T

Timone, 126.
Trajettoria, 118.
Trajettorie varie, 204, 209, 214.

V

V delle ali, 157, 159.
Velocità del volo, 171.
Vento dell'areoplano, 76, 150.
Id. reale, 150.
Id. relativo, 19, 75.
Viraggio nave, 128.
Id. areoplano, 129, 141, 144, 160.
Volare, 9.
Volo ascendente, 189.
Volo a vela, 216.
Volo col vento, 211.
Volo nel piano verticale, 167.
Volo *plané*, 208, 209.

Digitized by Google

Torino — FRATELLI BOCCA, Editori — Roma-Milano

Biblioteca di Scienze Moderne

N° 1. Sergi G. ***Africa.*** Antropologia della stirpe Camitica. — Con 118 fig. ed una carta . . . . . L. 10 —
„ 2. Nietzsche F. ***Al di là del bene e del male.*** Preludio di una filosofia dell'avvenire. — 3ª edizione. . . . . „ 5 —
„ 3. Zini Z. ***Proprietà individuale o proprietà collettiva?*** Ricerche sulle tendenze economiche delle Società moderne . . „ 6 —
„ 4. Verworn M. ***Fisiologia generale.*** Saggio sulla teoria della vita. — Con 270 fig. . . . . „ 14 —
„ 5. Ciccotti E. ***Il tramonto della schiavitù nel mondo antico*** „ 6 —
„ 6. Villa G. ***La psicologia contemporanea.*** — 2ª edizione . . „ 12 —
„ 7. Nietzsche F. ***Così parlò Zarathustra.*** Un libro per tutti e per nessuno. — 2ª edizione . . . . . „ 7 —
„ 8. Sergi G. ***Specie e varietà umane.*** Saggio di una sistematica antropologica. — Con molte figure . . . . . „ 6 —
„ 9. Baratta M. ***I terremoti d'Italia.*** Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana. — Con 136 sismocartogrammi . „ 20 —
„ 10. Spencer H. ***I primi principii.*** — 2ª edizione . . . . . „ 10 —
„ 11. Stirner M. ***L'unico.*** — Con introduzione di E. Zoccoli. 2ª ediz. „ 8 —
„ 12. De Michelis E. ***Le origini degli Indo-Europei*** . . . . . „ 15 —
„ 13. Spencer H. ***Fatti e commenti*** . . . . . „ 6 —
„ 14. Sergi G. ***L'origine dei fenomeni psichici e il loro significato biologico.*** . . . . . „ 8 —
„ 15. Spencer H. ***Introduzione alla scienza sociale*** . . . . . „ 9 —
„ 16. Spencer H. ***Le basi della morale*** . . . . . „ 7 —
„ 17. James W. ***La coscienza religiosa*** . . . . . „ 12 —
„ 18. Spencer H. ***Le basi della vita*** . . . . . „ 10 —
„ 19-20. Pierson N. G. ***Trattato di economia politica.*** — Due vol. „ 25 —
„ 21. Harnack A. ***La missione e la propagazione del cristianesimo nei primi tre secoli*** . . . . . „ 14 —
„ 22. Nietzsche F. ***La gaia scienza*** . . . . . „ 7 —
„ 23. Spencer H. ***L'evoluzione della vita*** . . . . . „ 7 —
„ 24-25. Höffding H. ***Storia della filosofia moderna.*** Due volumi „ 25 —
„ 26. Zoccoli E. ***L'Anarchia.*** Gli agitatori, le idee, i fatti . . . . „ 14 —
„ 27. Trojano P. R. ***Le basi dell'umanismo*** . . . . . „ 7 —
„ 28. Spencer H. ***Le basi del pensiero*** . . . . . „ 8 —
„ 29. Orestano F. ***I valori umani*** . . . . . „ 8 —
„ 30. Cantoni C. ***E. Kant*** . . . . . „ 9 —
„ 31. Romanes G. I. ***L'evoluzione mentale nell'uomo*** . . . . . „ 10 —
„ 32-33. De Sanctis G. ***Storia dei Romani.*** La conquista del primato in Italia. — Due volumi . . . . . „ 24 —
„ 34. Forel A. ***La questione sessuale*** esposta alle persone colte . „ 12 —
„ 35. Spencer H. ***Il progresso umano*** . . . . . „ 10 —
„ 36. Sergi G. ***Europa.*** L'origine dei popoli Europei . . . . . „ 20 —
„ 37. Barth P. ***Pedagogia e didattica*** . . . . . „ 12 —
„ 38. Eucken. ***La visione della vita nei grandi pensatori*** . . „ 15 —
„ 39. Zuccante. ***Socrate.*** Fonti - Ambiente - Vita - Dottrina . . . „ 12 —
„ 40. Schopenhauer A. ***Morale e religione.*** . . . . . „ 8 —
„ 41. Garello L. ***La morte di Pan.*** Psicologia morale del mito . „ 8 —
„ 42. Spencer H. ***L'evoluzione morale*** . . . . . „ 7 —
„ 43. Loria. ***La sintesi economica*** . . . . . „ 12 —
„ 44. Spencer H. ***L'evoluzione del pensiero*** . . . . . „ 10 —
„ 45. Gioberti V. ***La teorica della mente umana — Rosmini ed i rosminiani — La libertà cattolica*** . . . . . „ 15 —
„ 46. Covotti A. ***La vita e il pensiero di A. Schopenhauer*** . „ 10 —
„ 47. Pastore A. ***Sillogismo e proporzione*** . . . . . „ 7 —
„ 48. Lea E. C. ***Storia dell'inquisizione*** . . . . . „ 18 —
„ 49. Chiappelli A. ***Dalla critica al nuovo idealismo*** . . . . „ 8 —
„ 50. Nietzsche F. ***Ecce Homo*** . . . . . „ 5 —
„ 51. Paulsen F. ***Introduzione alla filosofia*** . . . . . „ 10 —
„ 52. Grant-Allen. ***L'Evoluzione dell'Idea di Dio*** . . . . . „ 12 —
„ 53-54-55. Wagner H. ***Trattato di geografia generale.*** — Tre vol. „ 32 —
„ 56. Sergi G. ***L'Uomo*** . . . . . „ 20 —

NB. — Questi volumi si possono avere legati elegantemente in tela con fregi artistici, con aumento sul prezzo, di L. 2 — per ogni volume.

Digitized by Google

Digitized by Google